

論 文

UDC 669.14-147-412 : 620.192.45 : 621.746.047

冷延用低炭素鋼鑄片中の非金属介在物におよぼす
製鋼鑄造条件の影響*熊 井 浩**・松 永 久**
浅 野 鋼 一***・佐 伯 毅**Effect of the Steelmaking and Continuously-Casting Conditions
on Non-Metallic Inclusion of the Steel For Cold Rolled SheetKoo KUMAI, Hisashi MATSUNAGA,
Kōichi ASANO, and Tsuyoshi SAEKI

Synopsis:

In order to produce continuously-cast slabs provided for mother material of cold rolled sheet, liquid steels were deoxidized with deoxidizers of Al-Si-Mn system. Non-metallic inclusions of manganese-silicate and alumina were studied with reference to its steelmaking and casting conditions.

The results are as follows.

- (1) To reduce the amount of manganese-silicate inclusion,
 - (a) keep the (blow-off [C] × (T-Fe)) higher,
 - (b) keep the yield of silicon added as deoxidizers at tapping more than 95%,
 - (c) furnish tundish-dam, and
 - (d) keep the casting speed higher.
- (2) To reduce the amount of alumina,
 - (a) keep the blow-off carbon content higher,
 - (b) reduce Al/Si ratio of the deoxidizers added at tapping,
 - (c) keep the blow-off temperature higher, and
 - (d) keep the casting speed higher.

As stated above, steelmaking conditions have a strong connection with the non-metallic inclusions. Therefore, the main source of inclusion is considered to be deoxidation products.

(Received Oct. 11, 1973)

1. 結 言

連続鑄造によつて、冷延鋼板用鑄片の製造法を開発することが本研究の目的である。

冷延鋼板に要求される特性としては、まず、鋼材の材質面からの要求と、鋼板欠陥から来る要求とがある。前者に関しては橋本¹⁾は自動車用鋼板に要求される広義の加工性を、製鋼から冷延にわたる諸条件との関係において研究しており、また、後者の要求に対しては、長島²⁾、浅野³⁾、白岩⁴⁾がプレス割れなどの鋼板欠陥に関連して、非金属介在物の影響などを、詳細に報告している。また、表面欠陥におよぼす製鋼鑄造条件の影響についても、多くの報告⁵⁾がある。

本研究では、非金属介在物量の少ない連続鑄造鑄片の製造が目的であり、このためには、製鋼、鑄造工程での最適条件の検出を行なわねばならない。

H. B. EMERICK⁶⁾は鑄造時に鑄片中にスラグが巻き込み、疵の原因となるとしており、また、W. IRWIN⁷⁾はタンディッシュから鑄型への注入流の流動状況が最も大きく清浄度を左右するとしており、とくに、タンディッシュノズル材質の影響は大きいことから、多くの研究^{7)~11)}がなされている。すなわち、タンディッシュノズルの詰

* 昭和48年10月本会講演大会にて発表
昭和48年10月11日受付

** 新日本製鉄(株)広畑製鉄所

*** 新日本製鉄(株)広畑製鉄所 工博

りの原因は corundum 質の析出にある⁹⁾¹⁰⁾ ことをつきとめ、この対策として、ノズル内径の増加を必要とするとしているが、T. D. MEADOWCRAFT¹²⁾ はアルゴンガスをノズルから吹き込む方法を推奨している。またこの析出現象を利用して、介在物を除去する方法として、ボックス型ノズルを推奨している。また、栗田¹³⁾ はノズルを溶鋼中へ浸漬させない方法、いわゆるオープンノズルによる注入は、大型介在物量が多くなると報告している。これは、スラグもしくはスカムのたたき込み¹⁴⁾ が大きな原因の1つと考えている。また、タンディッシュは介在物の浮上分離に役立つものであるが、タンディッシュ内の渦流は介在物の浮上を困難にするとの報告¹⁶⁾ もある。

以上のように、介在物の量などにおよぼす諸要因の影響は、きわめて複雑である。そこで、本報告においては、彎曲型連続铸造機を用いた場合の冷延鋼板用鑄片の非金属介在物の量、組成などにおよぼす製鋼鑄造条件の影響について報告する。

2. 試験方法

2.1 試験鑄片の製造方法

2.1.1 製鋼条件

供試材は 100 t 転炉で溶製したが、後述するように、吹止め時の溶鋼中の酸素量などが、本研究においては、大きな要因となることが考えられたので、Table 1 に示すように、3種の吹錬方法を用いて、以下の検討を行なった。すなわち、A法は、吹錬初期から吹錬の90%までを通常の通酸強度とし、末期において、ハードブロー

Table 1. Oxygen-blowing conditions of LD furnace.

Method	Distance from lance edge to steel surface (mm)		
	0	90	100 (%)
	Percentage of oxygen-blowing time		
A	450	250	250
B	250	250	450
C	450	450	250

Oxygen flow rate 20 000 Nm³/H
Charge 95-103 t-steel/ch

Table 3. Deoxidation at tapping.

Deoxidizer	Case 1 kg/t-steel	Case 2 kg/t-steel
Fe-Mn	0 -1.0	1.0-4.0
Si-Mn	3.0-5.0	—
Al	0.5-1.1	0.4-1.0
Al-Si-Ca-Ba	—	1.0-2.0

Table 4. Conditions of continuous casting.

Continuous casting facilities	Bow type at Hirohata works of Nippon steel Co. Ltd.
Tundish	Temp. 1560~1580°C with argon gas sealing
Tundish nozzle	Fused silica nozzle, (reverse Y type 25°, inn. dia. 55 mm) or tused silica box
Mold	Thickness 200-250 mm Width 1200-1900 mm
Mold lubrication	Powder
Mold oscillation	Cycle 70-90 cpm Amplitude 13 mm
Casting speed	0.6-1.1 m/min

とするもの、B法は、吹錬の全期をハードブローとするもの、C法は、吹錬の全期を通常の通酸強度とするものである。

また、出鋼時の脱酸は Al-Si-Mn 系脱酸剤によつて脱酸したものを基本系としたが、一部、Al-Si-Ca-Ba 系脱酸剤を用いたものもある。Table 2 に転炉吹止め時ならびに、出鋼後の溶鋼組成範囲を示す。また、Table 3 には脱酸剤の添加量を示す。すなわち、Case 1 は SiMn を主たる脱酸剤とし、Case 2 は Al-Si-Ca-Ba 合金を主たる脱酸剤として、FeMn, Al を補助的に使用し、溶鋼組成を所定の範囲におさめ、両脱酸法の比較を行なった。

2.1.2 鑄造条件

これらの溶鋼を彎曲型連続铸造機によつて鑄造したがそれらの条件を Table 4, 5 に示す。脱酸条件などの試験のためには、鑄造条件は Table 4 に示すもの、すなわち、浸漬型フェーズドシリカノズル (比較のためにフェーズドシリカボックスも使用) を用い、パウダー潤滑により鑄造し、タンディッシュは空気酸化を避けるため、アルゴンガスシールを行なうものを標準作業とした。

さらに、タンディッシュにおける介在物の浮上を促進

Table 2. Composition of test steel.

Composition	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Total Al%
at blow-off of LD	0.025~0.065	tr.	0.15~0.25	≤0.020	≤0.020	tr.
at ladle	0.030~0.070	0.03~0.07	0.40~0.50	≤0.020	≤0.020	≤0.008

Table 5. Comparison of steelmaking conditions A and B.

Method	Conditions
A	Al-Si-Mn deoxidation, being sealed with argon gas between ladle and tundish, powder lubrication, immersion nozzle.
B	Al-Si-Mn deoxidation, not being sealed with argon gas between ladle and tundish, oil lubrication, not-immersed nozzle.

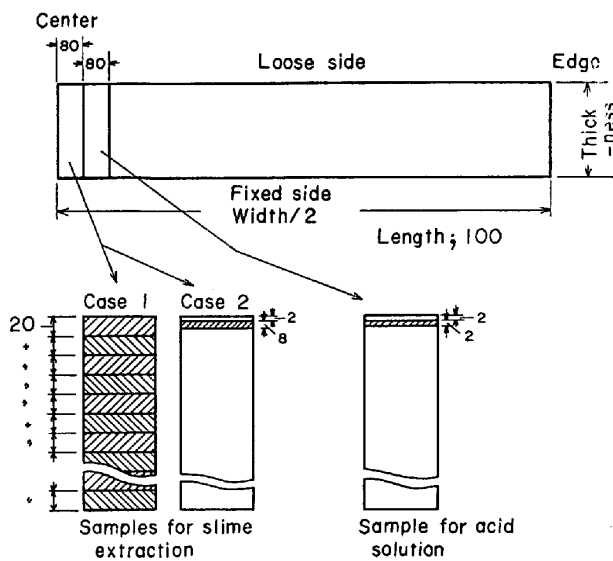


Fig. 1. Methods of taking samples for slime extraction and for acid solution from continuously cast slab.

する目的で、タンディッシュに堰を設けたものもある。

また、鑄片内の非金属介在物量、組成に対して、空気酸化の影響ならびに、非浸漬型のノズルを用いることの影響は、大きいことが定性的には予想されたが、これを定量的に把握するために、Table 5に示す条件での試験も行なった。

2.2 試験鑄片の調査方法

2.2.1 試験鑄片の概況

試験鑄片の凝固組織をサルファープリントならびにマクロ腐蝕によつて、内部凝固組織を本試験に先立ち調査したが、各鑄片とも断面中心部にごく軽微なサルファーバンドが認められるとともに、コーナー部近傍に微細な縦方向の偏析線が見られる以外とくに異常部はない。これらのサルファーバンドなどにおよぼす製鋼鑄造条件などの影響については、本論文の目的とするところではないので省略するが、本鑄片はサルファーバンドについては平均的なものであり、微細割れについては通常ではほ

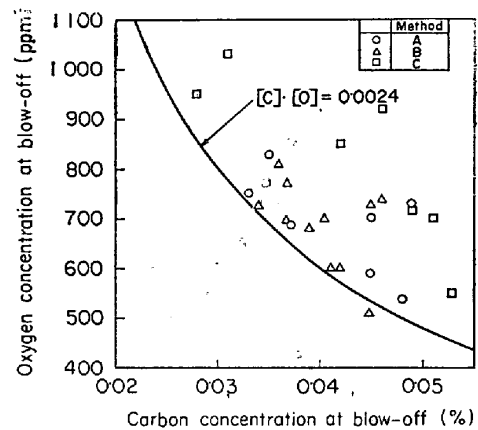


Fig. 2. Effect of blowing method of LD on the relation of carbon and oxygen.

とんど発生していない。

2.2.2 試料切出し要領

試験鑄片は各チャージの鑄造中期相当の鑄片位置から採取し、スライム抽出法^{16)~21)}による球状介在物調査、ならびに、酸溶解法による Al_2O_3 系介在物の調査に供した。これらの試料切出し要領をFig. 1に示す。なお図中、スライム抽出のための試料切出し要領Case 1は、鑄片厚み方向の介在物分布などを対象とした場合に採用し、製鋼鑄造条件との関係調査についてはCase 2を採用した。

非金属介在物のEPMA定量分析条件は、加速電圧20kV、試料電流 $0.02\mu A$ で、ビーム径は原則として、 $3\mu\phi$ で行なった。各元素の定量補正はJ. PHILIBERTの吸収補正²²⁾をした後、さらに、その値を、D. M. POOLEら²³⁾の原子番号補正をした。

3. 試験結果

3.1 転炉吹錬条件と鑄片内非金属介在物の関係

転炉吹錬法をTable 1に示したような3種に変え、吹止炭素と吹止め酸素の関係をFig. 2に示す。C法を用いた場合に比較して、A, B法においては、吹止め時の酸素量が低酸素側に偏倚していることと、A, B法の間には差がない点の特徴である。すなわち、転炉の吹錬末期にハードブローにすることにより、酸素量を少なくしうる。また、Fig. 3, 4に吹止め時のスラグ中のTotal-Fe(以下T-Feと書く)と吹止炭素、吹止め酸素の関係を示し、これらの図中には、鑄片表層部(試料切出し要領; Fig. 1-Case 2)の 53μ 以上の介在物量を識別して示した。

以上の図から、C法においては、吹止め時の酸素量が多いために、介在物量が多くなり、また、B法において

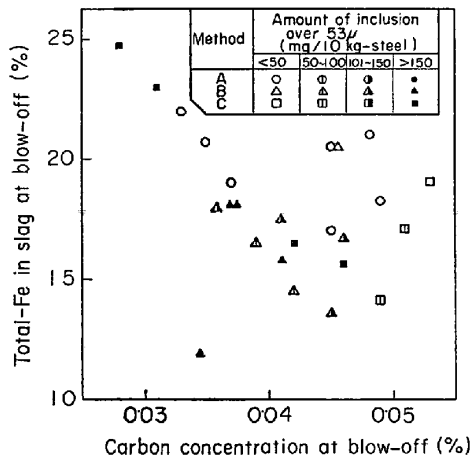


Fig. 3. Effect of total Fe in slag and carbon concentration at blow-off on the amount of inclusion.

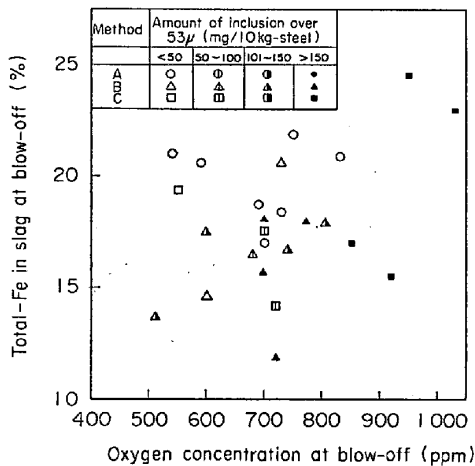


Fig. 4. Effect of total Fe in slag and oxygen concentration at blow-off on the amount of inclusion.

は、吹止め時の酸素量が少ないにもかかわらず、介在物量が多く、A法においては、酸素量はB法と同じであっても介在物量が少ない。介在物量から見て、A法が最も良い。このA法とB法の介在物量における差は、転炉吹止め時のスラグ中の T-Fe が A 法の方が高いことによる。すなわち、A法においては、転炉スラグの性状が、たとえば、流動性が良いとか、出鋼時の脱酸剤添加による脱酸生成物の吸収力が強いことなどの理由によるものと考えられる。しかし、この原因の究明については、今後の研究が必要である。

以上のことより、鋳片中の介在物量を少なくするには、吹止め時の酸素量を少なくすることと、転炉スラグの性状の調整が必要である。本研究では、転炉スラグの介在物量に影響をおよぼす何らかの特性値を改善するために

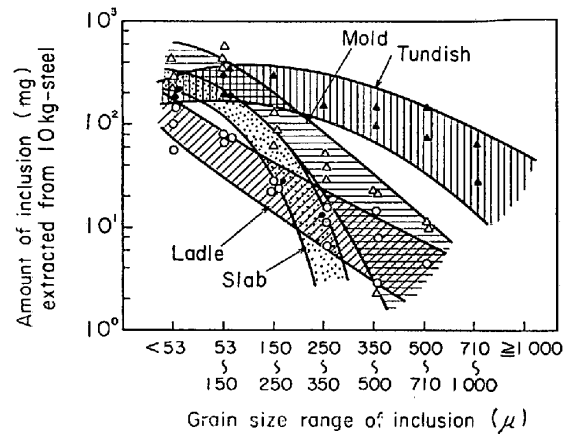


Fig. 5. Changes of grain size distribution during steelmaking processes. (Al-Si-Mn deoxidation, oil lubricating)

は、スラグ中の T-Fe を高くすることが1つの方法であることがわかった。

通常、吹錬方法を固定すれば、吹止め時の酸素量は、吹止め炭素量に反比例することが知られているから、以上述べたことを整理すれば、

$$\text{鋳片内介在物量} \propto 1 / ((T \cdot Fe) \cdot (\text{吹止め} C))$$

となる。さらに鋳片内介在物量におよぼす、他の要因の影響も含めて、3.3 において詳述する。

3.2 鋳造過程における介在物の挙動

Fig. 5 は取鍋、タンディッシュ、鋳型、ならびに鋳片における採取試料のスライム抽出介在物の粒度分布を示す。これによれば、溶鋼を取鍋からタンディッシュへ注入する過程で、介在物は全粒度範囲にわたって増加するが、鋳型への注入後、350μ以上の大型の介在物は採取された試料中には見出されないが、50~350μの介在物は、そのまま残存し、この範囲の介在物が、取鍋におけるものよりも、約5倍、増加している。これらの調査は、鋳型から試料採取をするのに便利な菜種油潤滑鋳造の場合、すなわち、鋳型内で、パウダーを使用しない場合について調査したものであるが、以上のことより、タンディッシュへの注入および鋳型への注入に際して、空気酸化によりスカムが生成し、この巻き込みが、介在物増加の大きな要因であろうと考えられる。

3.3 鋳片内の非金属介在物

(1) 介在物量

連続鋳造した試験鋳片の表層部における介在物量のヒストグラムを Fig. 6-(a), (b) に示す。Fig. 6-(a) は抽出された全介在物量、Fig. 6-(b) は 53μ以上の介在物量をチャージの頻度によつて示したものである。すなわち、全抽出介在物量および 53μ以上の介在物量の

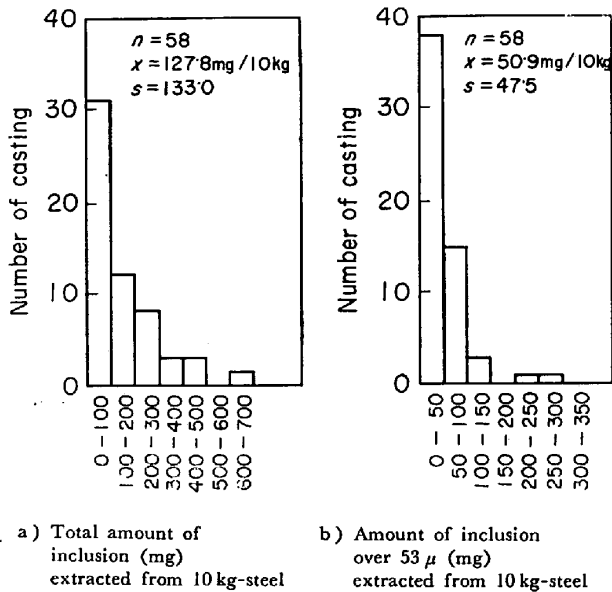


Fig. 6. Frequency of the amount inclusions.

平均値は、それぞれ 127.8 mg/10 kg-steel および 50.9 mg/10 kg-steel であった。

(2) 介在物の鑄片内分布状況

鑄片のサルファープリントにおいて、大型の介在物は黒点（以下目視介在物と呼ぶ）として検出されるので、まず、大型介在物の鑄片内分布の概況を知る意味で、サルファープリントから、その目視介在物の個数を計数しその分布図を求めた。

Fig. 7 に目視介在物と全酸素含有量の鑄片厚み方向における分布状況を示す。これによれば、目視介在物は鑄片上面側、約 40~50 mm に集積するのに対し、全酸素含有量の分布状況を見ると、上面側の方が全酸素含有量が高いとはいえるが、目視介在物の場合ほどには顕著な差は現われない。この目視介在物の場合に見られた現象を、さらに詳細に確認するために、スライム法により調査を行ない、その結果を Fig. 8 に示す。これによれば、大型介在物ほど、上面側に近い所に集積することがわかる。

Fig. 9 に鑄片幅方向における目視介在物の分布状況を示す。目視介在物は平均的には鑄片の左右端部と中心部に少なく、幅方向 1/4 の部分において最も多くなるといえる。しかし、代表的な 2 例を本図中に示したが、鑄片幅中心部付近において、最も多くなる場合もあり、これがいかなる条件の場合に生ずるかは、明らかにしえなかつたが、鑄片内の流動現象と密接な関係があろう。一般的に、鑄片幅方向 1/4 部分に介在物集積位置があることは、多くの研究者によつて指摘されているところであり²⁴⁾、本研究によつてもこれが証明された。

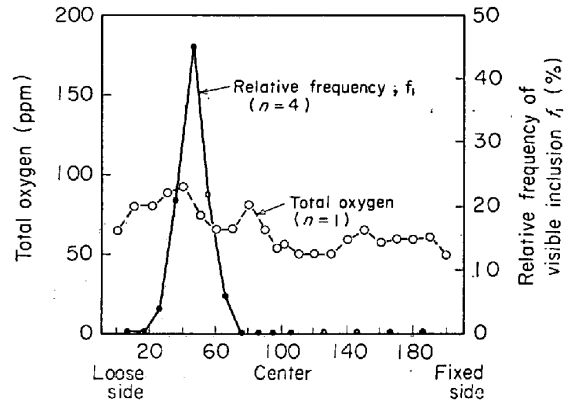


Fig. 7. Distribution of oxygen and visible inclusion across slab section. (middle of length and center of width, casting speed 0.7 m/min)

$$\text{Note; } f_i = \frac{n_i}{\sum_i n_i} \times 100$$

n_i ; number of visible inclusion in a section- i

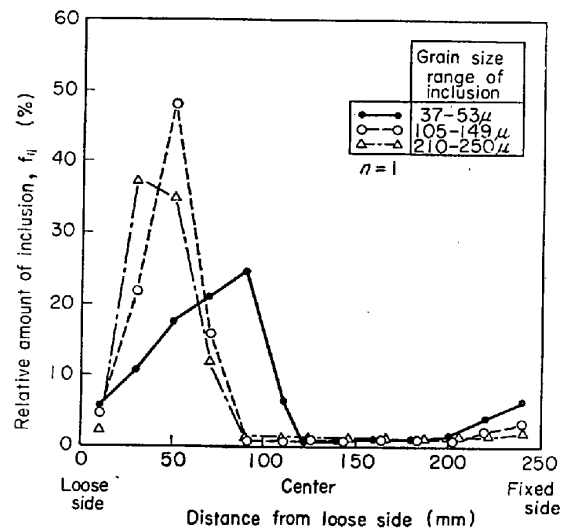


Fig. 8. Distribution of large inclusions across the section of the slab cast by the speed of 0.7 m/min by bow type continuous casting facilities. (Width 1900 mm, thickness 250 mm)

$$\text{Note; } f_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_j n_{ij}} \times 100$$

n_{ij} ; Weight of non-metallic inclusion of the grain size range shown in the figure, extracted by the slime method from a sample of i -th section.

(3) スライム抽出介在物の粒度分布

Fig. 10 に鑄造中期の鑄片から厚み方向に Fig. 1 の Case 1 の要領でそれぞれ 20 mm 厚みの試料を切り出し、スライム法により、非金属介在物を抽出し、その粒

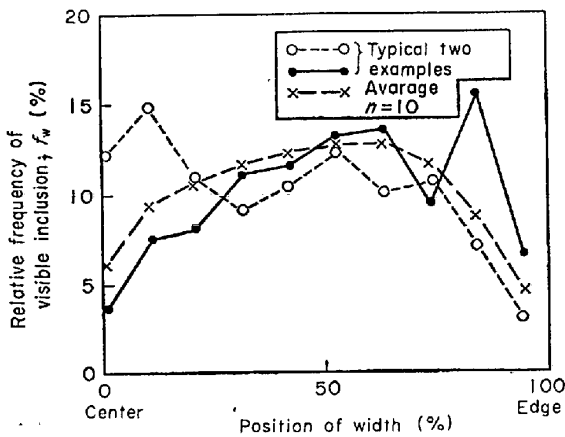


Fig. 9. Distribution of large inclusions across the width of the slab cast by the speed of 0.7 m/min by bow type continuous casting facilities. (Width 1900 mm, thickness 250 mm)

Note; $f_{wi} = \frac{n_{wi}}{\sum n_{wi}} \times 100$

n_{wi} ; Number of inclusion over 100 μ in a section-i.

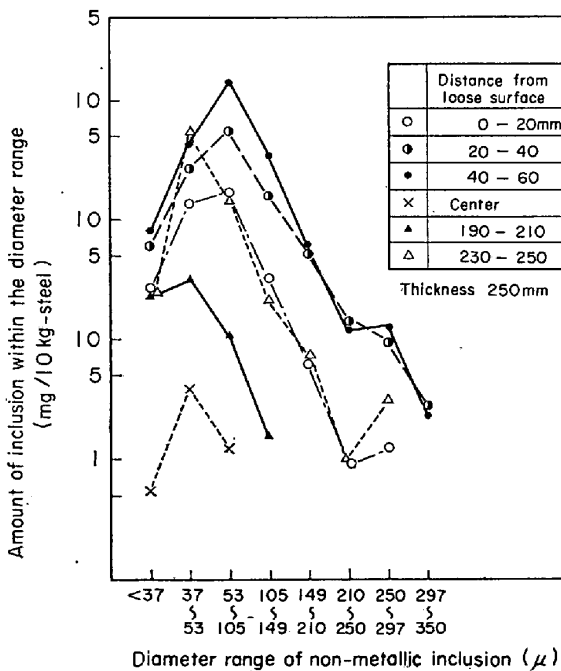


Fig. 10. Grain size distributions of non-metallic inclusions extracted from various portions of a continuously cast slab.

度ごとの抽出量を示した。抽出介在物量は鑄片上表面の 40~60 mm 付近に集積することがこの調査によっても明らかである。

この図からわかるように、場合によつては、数 100 μ

の介在物が検出されるが、このような大きな介在物を減少させることが重要である。

(4) スライム抽出大型介在物の組織

スライム抽出介在物の外観写真ならびに組織についてその概略を前報²⁵⁾において報告したが、さらに詳細に以下に示す。

本試験鑄片の介在物組成は MnO, Al₂O₃ を含む单相の Mn-silicate から, Aluminate が析出した Mn-silicate まで, その組成, 形態が種々様々で, 連続鑄造材特有の介在物組織が見られるものも少なくない。本項では Al-Si-Mn 脱酸した鑄片中の代表的な組織の抽出介在物を EPMA で定量分析し, その結果にもとづいて粒度範囲ごとに組織分類した結果を述べる。

Photo. 1 に試験鑄片の介在物組織写真を, その定量結果とともに示した。なお, 付表中には, 各元素の分析値をそれぞれの酸化物, すなわち, MnO, FeO, Al₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, ZrO₂, TiO₂ として計算した値を示した。

上記の調査の結果, 大型介在物を, その組織より, 次の 6 種に分類した。

(a) タイプ: FeO 2~4%, MnO 38~45%, SiO₂ 30~38%, Al₂O₃ 15~20% よりなる单相の介在物で, 通常 Spessartite と呼ばれるもの。

(b) タイプ: 二相よりなる介在物で, (a)タイプに比べて Al₂O₃ 含有量が若干高く, 微小な Galaxite の析出相を伴うものも含む。

(c) タイプ: 塊状に析出した Galaxite を伴い, マトリックスは Al₂O₃ 22~25%, MnO 26~38%, SiO₂ 33~40% であるもの。

(d) タイプ: 微細な析出相をした多相介在物。SiO₂, MnO 含有量が高い。

(e) タイプ: 析出相もしくはマトリックス部分に CaO 含有量が数%のもの。その起源は, スラグもしくは連鑄用パウダーにあると思われる。

(f) タイプ: 析出相もしくはマトリックス部分に, ZrO₂, TiO₂, MgO などを伴うもの, その起源については多様であり, 詳細な考察が必要である。

(5) 組織別発生頻度

非金属介在物はその起源によつて, その組織が異なるから, ここでは, 二種の異なる製造条件における場合について比較しながら報告する。

試験鑄片の製造は Table 5 に示すように, A 法と B 法の二種について行なつた。これらの試験鑄片からのスライム抽出介在物の組織を前記 6 種に分類し, その発生頻度を Fig. 11 に示す。すなわち, A 法によれば Galaxite

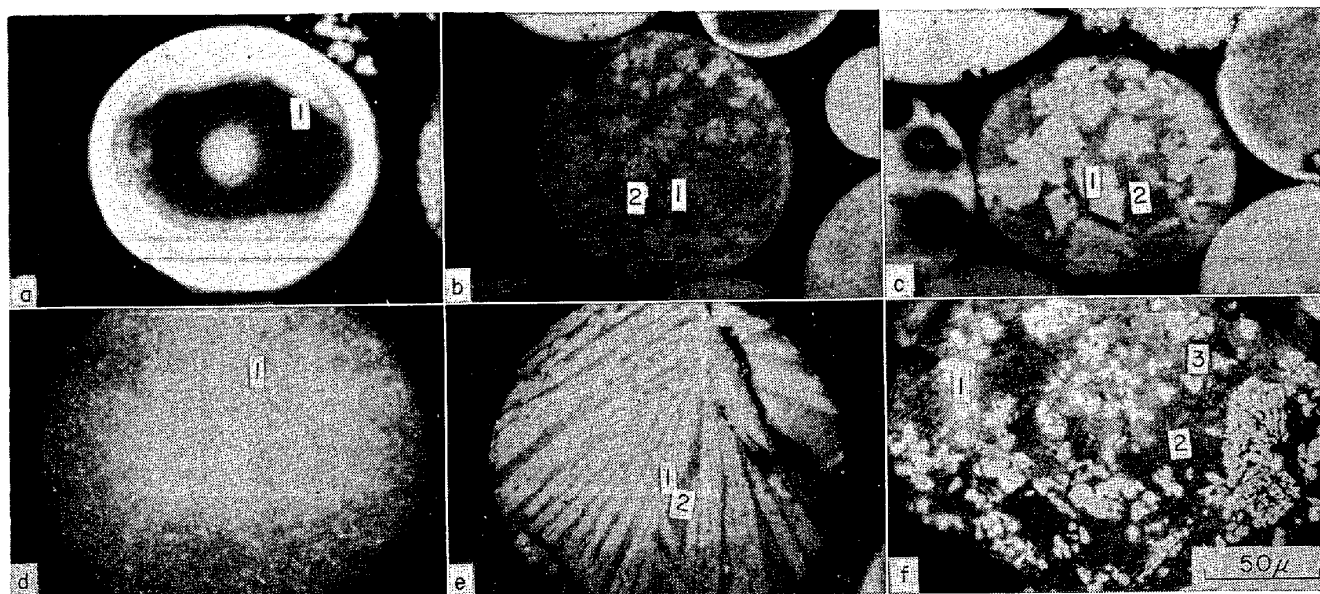


Photo. number	a		b		c		d		e		f					
	Point		Point		Point		Point		Point		2			3		
Oxide	1	1	2	1	2	1	1	2	1	×	×	×	×	×	×	
FeO	2.5	1.6		3.7		3.5	3.1	2.7	1.7	3.3	4.1	3.7	3.7	4.6	3.7	
MnO	38.7	33.3	33.9	20.2	26.0	46.8	35.3	31.0	1.4	38.1	48.7	39.9	42.8	46.4	42.5	
Al ₂ O ₃	17.0	35.0	33.9	70.3	25.4	7.0	8.8	11.0		18.5	12.3	16.3	13.5	10.0	13.0	
SiO ₂	32.5	21.0	23.0		41.5	34.4	34.9	34.6		37.0	32.0	37.6	36.3	33.0	37.0	
CaO								11.5								
MgO	4.5															
TiO ₂					2.3											
ZrO ₂									96.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	

Note: ×; point of maximum Al value. ××; point of maximum Mn value. ×××; point of maximum Si value.

Photo. 1. Representatives of extracted non-metallic inclusions and their analyses by electron probe micro-analyzer.

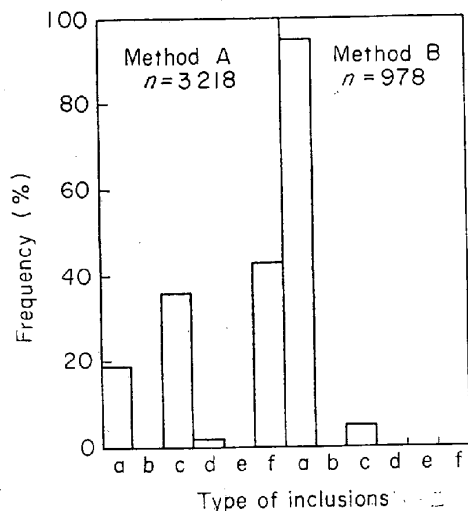


Fig. 11. Comparison of type of non-metallic inclusions appeared in the steel made by the methods A and B.

の析出したものや、ZrO₂の析出した多相介在物が多いのに対し、B法においては、もつばら単相のMn-silicateが存在することがわかる。これらの違いは、B法において、取鍋-タンディッシュ間にアルゴンシールを行わず、また、タンディッシュノズルも非浸漬型ノズルを使用した鑄造で、菜種油潤滑鑄造であり、したがって、空気酸化が多く、その結果、空気酸化生成物であるMn-silicateが多量に生成したものと考えられる。なお、本研究の対象とした鋼種の通常作業としては、A法が採用されている。なお Fig. 12 にA法とB法の抽出介在物の粒径と組成の関係を示した。B法の介在物は、いずれの粒径のものも Spessartite であり、A法のもの、小型介在物ほど Al₂O₃ 含有量が多く、大型介在物ほど、Spessartite 組成に近づくことがわかる。

3.4 鑄片内の非金属介在物量におよぼす製鋼鑄造条件の影響

鑄片表層部の試料を Fig. 1 Case 2 の要領で採取し、

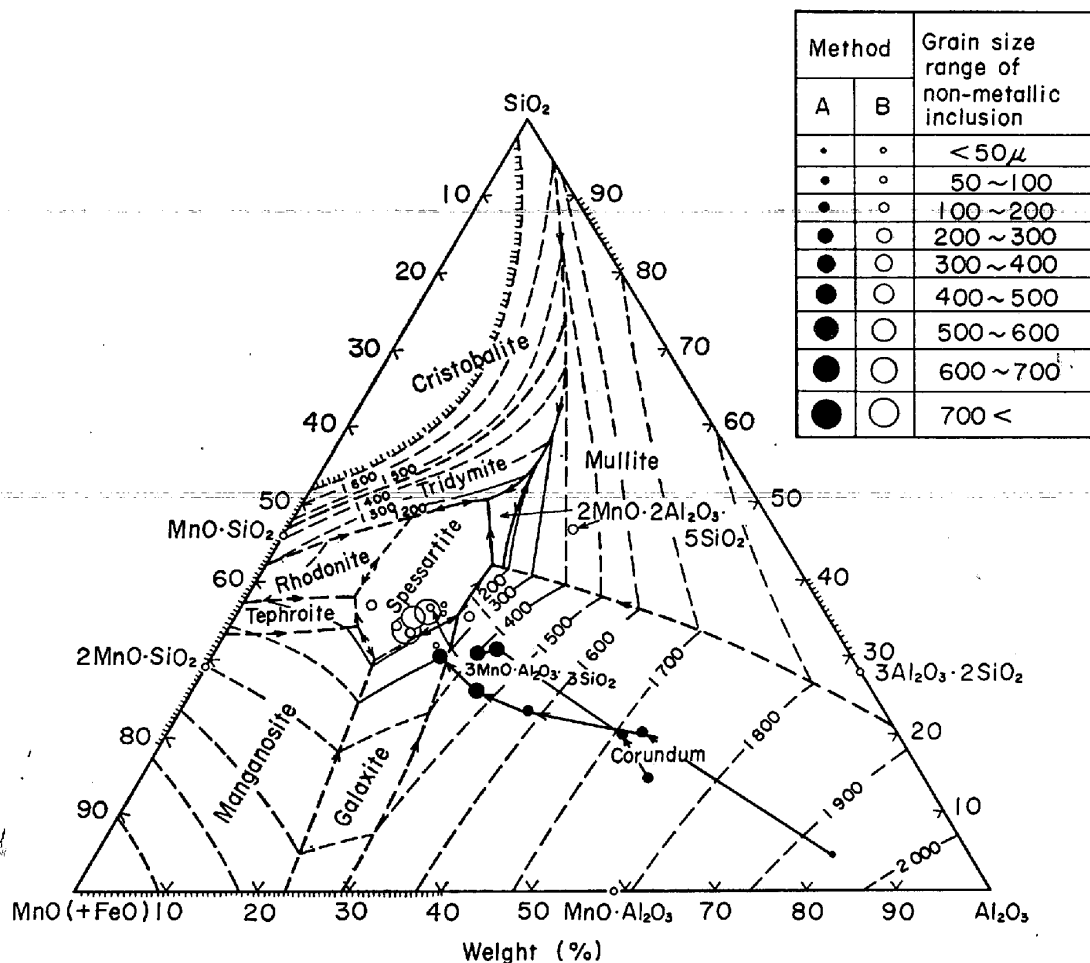


Fig. 12. Comparison of compositions of non-metallic inclusions extracted from the slabs cast by the methods A and B.

大型介在物を前述の方法により抽出した結果、前述(Fig. 6)のような発生頻度になる。すなわち、 $1 \times 10^0 \sim 7 \times 10^2$ mg/10 kg-steel の範囲にあり、この変動は、

A-1 取鍋内で生成する大型介在物量

- 2 タンディッシュ関係耐火物による汚染
- 3 鑄型内でのパウダーによる汚染
- 4 各種の空気酸化による介在物の生成

B-1 取鍋内での浮上

- 2 タンディッシュ内での浮上
- 3 鑄型内での浮上

の程度により定まる。そこで、これらに関する各種の製鋼鑄造条件との対応関係を調査した結果、

- 製鋼条件 イ) (吹止[C%]) × スラグ中(T·Fe%)
- ロ) 出鋼時の Si 歩留

- 連鑄条件 ハ) タンディッシュ内に堰を設けて酸化物の浮上をはかること

ニ) 引抜速度

の4要因の寄与が高く、統計的にも有意であることがわ

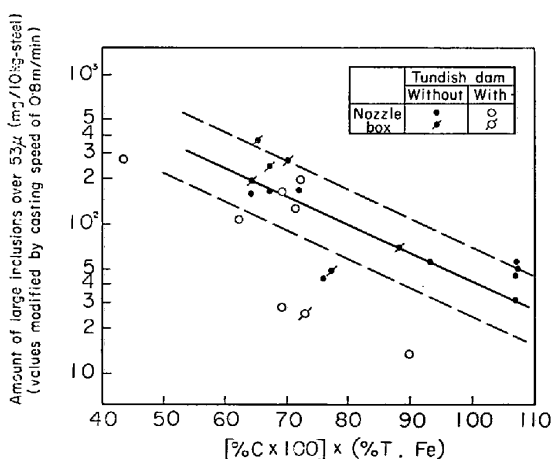


Fig. 13. Effect of $[\%C \times 100] \times (\%T, Fe)$ on the amount of inclusions over 53μ .

かつた。これらの要因と抽出介在物量の関係の数例を Fig. 13~Fig. 15 に示す。これらの4要因を取り上げ、重回帰分析を行なうと、 53μ 以上の大型介在物量 W (mg/10 kg-steel) の常用対数変換値は次式で与えられる。

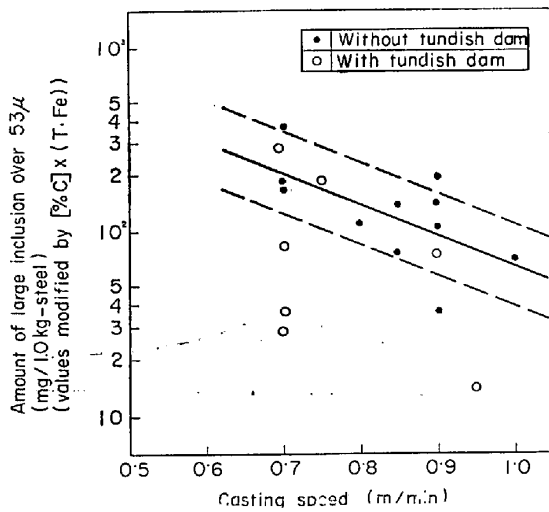


Fig. 14. Relation of amount of large inclusions over 53μ and casting speed.

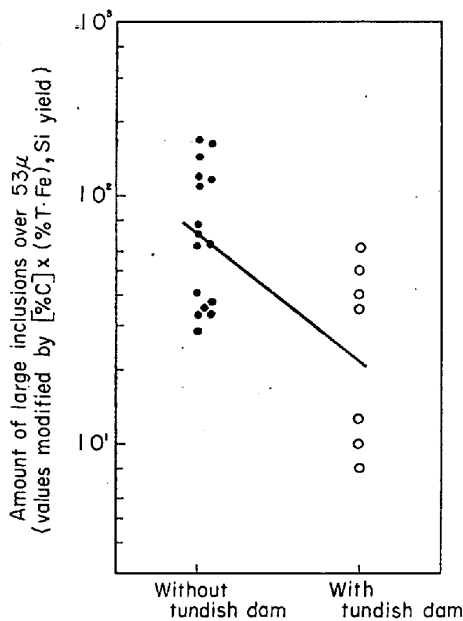


Fig. 15. Effect of tundish dam on the amount of large inclusions.

$$\log W \equiv Y = -0.0184 \times [\%C \times 100] \times (\%T \cdot Fe) \\ + 0.0152 \times |\text{Si 歩留}(\%) - 100| \\ - 1.68 \times \text{引抜き速度 (m/min)} \\ - 0.40 \text{ (タンディッシュ堰を設けた} \\ \text{場合)} \\ + 4.61$$

ただし, W : 53μ 以上の大型介在物量
(mg/10 kg-steel)

また, 誤差分散平方根 $\sqrt{V_{yx}}$ は
 $\sqrt{V_{yx}} = 0.23$

であった。

この他, 統計的には有意にはならなかったが, 取鍋マンガン含有量が高いと大型介在物量が増加する傾向がある。

以上, 鑄片表層部の大型介在物量を支配する要因について検討した結果,

- (1) (吹止[C]) \times (%T·Fe) を高くする。
- (2) Si 歩留 95~105% のチャージが良い。
- (3) タンディッシュに堰をつける。
- (4) 引抜き速度を上げる。

と大型介在物量が減少することがわかった。これらの条件がすべて良ければ, 大型介在物量は約 50 mg/10 kg-steel 以下に減少するものと判断される。

なお, (吹止[C]) \times (%T·Fe), および Si 歩留は転炉での精錬技術および出鋼時の脱酸技術と関連が深く, たとえば, (1)吹止炭素量を可能なかぎり高くする。(2)吹錬末期でのハードブローを行なうなどの吹錬上のアクションの他, 炉内アルミブロッキングなどのアクションが有効であろう。

さらにタンディッシュに堰を付けることは, 取鍋-タンディッシュ間の注入流が原因となる脈動や渦流を堰で中断し, タンディッシュ内での介在物の浮上を促進する効果があると考えられる。

また, 鑄造時に, 引抜き速度を上げることは, 一般的には, 鑄型内での非金属介在物の浮上を阻害することになるため, 介在物量を増加することになるが, 本研究においては, 冷延鋼板を対象としているため, 冷延鋼板の表面疵を減少する目的で, 鑄片の表層部に存在する介在物量を少なくすることを意図した。すなわち, 試験方法として, Fig. 1-Case 2 のような試料中の介在物量を問題視し, これを少なくする手法として, 引抜き速度を上げれば良いことがわかった。引抜き速度を上げれば, 鑄型内での溶鋼の流れが強くなり, 鑄型内で凝固する鑄片表層部分で捕捉される介在物量が少なくなるものと考えられる。

一般的に, Al-Si-Mn 脱酸鋼を母材とする冷延用鋼板の表面疵の原因としては,

- (1) MnO-Al₂O₃-SiO₂ 系介在物
- (2) Al₂O₃ 系介在物
- (3) 酸化鉄

であることが明らかである。これらのうち, (1)については, スライム法を用いて調査したが, (2)については, 酸溶解抽出法を採用した。

以下, 吹錬, 鑄造条件と鑄片 Al₂O₃ 含有量との関係を示す。

酸溶解抽出残渣は Mn-silicate, 角状 Al₂O₃, および,

微細な Al_2O_3 から成っている。Mn-silicate は、スライム抽出の場合と類似のガラス質のものであるが、Mn 含有量の多い Mn-silicate は溶出しているため、残存量はスライム抽出の場合よりも、はるかに少ない。まず、 53μ 以上の溶解残渣を篩分けした後、実体顕微鏡によつて、アルミナのみを目視判定によつて分離し、その重量によつて以下の要因解析に供した。

Fig. 16 にスライム抽出による 53μ 以上の介在物含有量と酸溶解法による 53μ 以上のアルミナ系介在物量との関係を示した。本図は吹止炭素含有量を 0.04% 以上のものに制限し、かつ鑄造時とくに鑄造が異常となつたものは除外した。本図より Al_2O_3 量と Mn-silicate 量とは相反する傾向にあることがわかる。しかし、条件によつては、いずれの介在物も少ない場合があり、この場合には、冷延鋼板の表面欠陥が少なくなると予想される。

つぎに、 Al_2O_3 系介在物含有量と製鋼鑄造条件との関係を調査した。その結果、 53μ 以上の Al_2O_3 含有量に対して、吹止時の炭素含有量、取鍋添加 Al/Si 比、吹止時の温度などが大きな関係を持つ要因であることがわかつた。

それらの結果の 2 例を Fig. 17, Fig. 18 に示す。すなわち、吹止炭素含有量にほぼ反比例して Al_2O_3 含有量は変化し、また、非浸漬ノズル-菜種油潤滑鑄造よりも、浸漬ノズルの方が、また、取鍋添加 Al/Si が小さい方が、また吹止温度が高い方が、それぞれ Al_2O_3 含有量が少なく、また、引抜速度が速い方が Al_2O_3 含有量が少なくなる。

以上のことを式で示せば

$$X = 13 - 25(V - 0.8) - 0.29(T - 1650) + 9\{(Al/Si) - 2.0\} - 2.94(C - 4)$$

ただし、 X : 53μ 以上の Al_2O_3 含有量 (mg/10 kg-steel)

V : 引抜速度 (m/min)

T : 吹止温度 ($^{\circ}\text{C}$)

Al/Si : 取鍋添加 Al/Si 比 (-)

C : 吹止炭素含有量 ($\%C \times 100$)

となる。

さて、冷延鋼板の表面疵の原因として、Mn-silicate 系、 Al_2O_3 系、酸化鉄系の非金属介在物があることはすでに述べたが、とくに酸化鉄系のは鑄片のピンホール発生状況と密接な関係がある。一般的には弱脱酸の場合には、鑄片にピンホールが発生する可能性があるが、ピンホール発生さえなければ、 Al_2O_3 含有量も球状介在物量も少ない方が理想であり、この点を冷延鋼板の表面成績で検討した。ピンホールが発生していない場合に

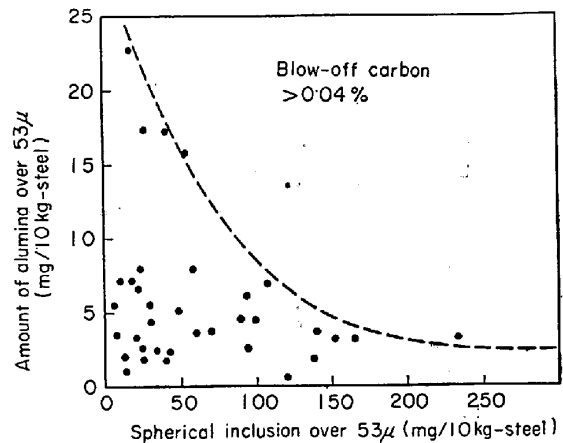


Fig. 16. Relation of spherical inclusion and alumina contents.

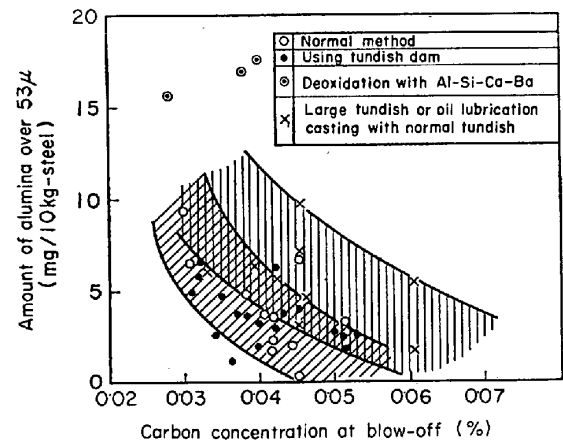


Fig. 17. Effect of carbon concentration at blow-off on the weight of alumina over 53μ .

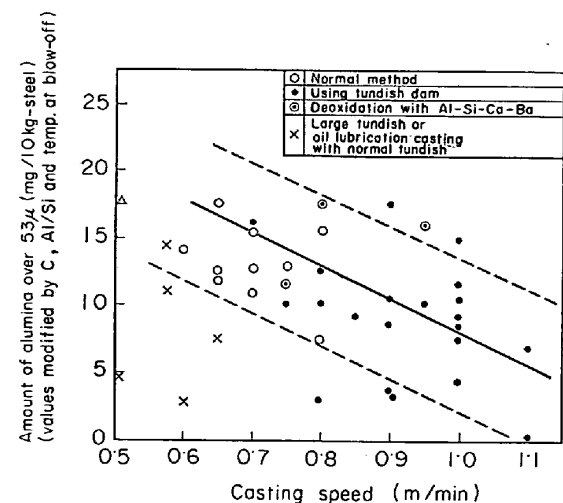


Fig. 18. Effect of casting speed on the amount of alumina over 53μ .

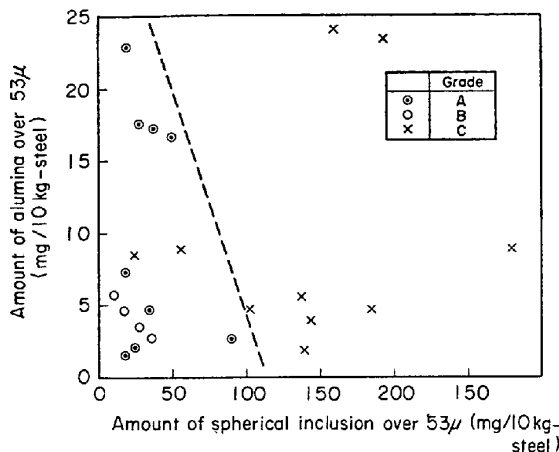


Fig. 19. Effect of the amount of spherical inclusion and the amount of alumina on grade of surface of cold rolled sheet. (not including the cast with slab-pinhole.)

いて、冷延鋼板の表面成績と Al_2O_3 および Mn-silicate 量との関係を Fig. 19 に示した。この図中に良好な表面成績の領域を示したが、当然のことながら、 Al_2O_3 ならびに Mn-silicate の両介在物量が少ない領域において、鋼板の表面疵が良好である。

さて、鑄片にピンホールが発生すれば、鋼板の表面疵は増加する傾向にあり、前図に示した領域が、より狭くなることは明らかである。

なお、Fig. 19 において、すなわち、ピンホールが発生しない場合には、良好なる表面疵のものが採取できる領域は、

$$A + (10/3) B < 110$$

ただし、

A: 53 μ 以上のスライム抽出介在物量(mg/10 kg-steel)

B: 53 μ 以上のアルミナ抽出量 (mg/10 kg-steel)

なる式で表わされる。

4. 考 察

本研究において対象とした鋼種は、低炭素鋼であり、吹止時の酸素含有量が多いことも原因の1つであるが、鑄片内の Mn-silicate 系ならびに Al_2O_3 系のいずれの介在物量も、転炉吹錬の条件によって、大きく左右されることから、出鋼時の脱酸生成物とその重要な起源の1つであることがわかるが、他方、タンディッシュにアルゴンガスシールを行わず、非浸漬型ノズルを使用して鑄造した場合、換言すれば、空気酸化を起こしやすい条件下では、空気酸化による酸化生成物と考えられる単相の Mn-silicate が多量に生成することから、空気酸化の影響も大きい。

また、非金属介在物の中には CaO を含有するものや ZrO_2 を含有するものがあり、前者は製鋼スラグもしくは鑄型パウダーが、後者はストッパーヘッドなどの耐火物がある原因と考えられる。しかし、これらを含有する介在物の中の CaO もしくは ZrO_2 の含有量はたかだか 20% であり、相対的には全介在物中に占める CaO および ZrO_2 の比率は小さい。

また、タンディッシュに堰を設けることにより、Mn-silicate 系の介在物が減少することも、鑄片内非金属介在物がタンディッシュ以前の工程に大きな原因があることを示すものであり、いいかえれば、脱酸生成物が主なる起源であることと裏付けている。

さらに、Mn-silicate 系介在物量にしろ、 Al_2O_3 系介在物量にしろ、鑄造速度を速くすること、すなわち、鑄型内の攪拌流の強さを強くすれば、これらの介在物が、鑄片表層部に捕捉されることが少なくなることも、冷延鋼板用鑄片の製造にあたって、重要なことである。

以上述べたことより、本研究の対象とした低炭素鋼の製造の場合には、鑄片中の非金属介在物の主なる起源は、脱酸生成物であり、副次的な起源として、ストッパーヘッドの溶損などによる耐火物系のものである。なお、タンディッシュノズルの材質をフェーズドシリカ系のものと、アルミナグラファイト系のものを用いて、同一チャージから、2ストランドに分注して比較した結果によれば、これらの間に大きな差は見い出せず、ストッパーヘッドの溶損も含めて、耐火物起因介在物量は多くないと結論づけられる。少なくとも、低炭素鋼を製造する場合には、転炉吹止時の酸素含有量は高く、したがって、出鋼時の脱酸生成物量が多いために、鑄造過程などにおける耐火物の溶損に原因する非金属介在物量は、脱酸生成物系の非金属介在物量に比較して少なく、相対的に、脱酸生成物系の非金属介在物減少が、本研究の対象とする鋼種の製造にあたっての、眼目になるものと考えられる。

5. ま と め

連鑄鑄片の Mn-silicate 系ならびに Al_2O_3 系介在物量を少なくする条件を整理すれば、以下のようである。

(1) 製鋼時の酸素含有量を極力低くおさえること。転炉精錬において、その方法によつては、酸素含有量を少なくしうるものであり、たとえば、吹止時の炭素含有量や吹止温度の適正值への適中などが重要な条件となる。

(2) Al ならびに Si による脱酸はいずれも添加量が多ければ、溶解酸素含有量ならびに全酸素含有量が減少

するが、Al 添加量が多い場合には Al_2O_3 クラスターが多くなり、冷延鋼板の表面性状は悪くなる。最適条件が存在する。

(3) 鑄造時に取鍋-タンディッシュ間を不活性ガスにより、シールすることは、空気酸化生成物系の非金属介在物量を減少させる効果がある。

(4) Mn-silicate 系介在物量を減少させるためには

- (イ) (吹止[C]) \times (T-Fe) を高くする。
- (ロ) シリコン歩留 95% 以上になるようにする。
- (ハ) タンディッシュに堰をつける。
- (ニ) 鑄造速度を速くする。

ことが有効である。

(5) Al_2O_3 系介在物を減少させるためには、

- (イ) 吹止時の炭素含有量を高くする。
- (ロ) 取鍋添加の Al/Si 比を小さくおさえる。
- (ハ) 吹止温度は高めにする。
- (ニ) 鑄造速度を速くする。

ことが有効である。

6. 結 言

以上の結論に基づいて、連続鑄造鑄片を製造し、これを用いて冷延鋼板ならびにブリキを製造したところ、従来のリムド鋼やキャップド鋼と同等もしくはそれ以上の表面清浄性を得ることができ、また、材質的には鋼材内のバラッキが少なく、良好なるコイル形状を得ることができるなど多くの利点があることがわかった。とくに、本鋼種の製造技術の確立は、連続鑄造のより広範囲な素材への適用へつながり、製鋼技術に占める意義は大きいといえよう。

文 献

- 1) 橋本, 久保寺, 川和: 鉄と鋼, 56(1970)4, S. 122
- 2) 長島: 鉄と鋼, 52(1966), p. 802
- 3) 浅野, 佐伯, 塗, 高階, 山田: 鉄と鋼, 56(1970)

4, S. 103, S. 104.

- 4) 白岩, 寺崎: 鉄と鋼, 56(1970) 4, S. 158
- 5) 野崎, 永井, 裏川: 鉄と鋼, 55(1969), p. 109
- 6) H. B. EMERICK: J. Metals, (1962)2, p. 144
- 7) W. IRWIN and R. J. MILBOURNE: J. Metals, 22 (1970)9, p. 30
- 8) J. Th. WASMUHT: Stahl u. Eisen, 90(1970)14, p. 774
- 9) V. P. SHEVCHENKO, D. A. LYUDKIN, A. M. KONDPATYUK, N. F. NAKONECHNII, R. Ya. YAKOBSHE, A. N. APAKSEVA, Z. E. GORYACHEVA and V. N. MURAVEV: Ogneupor, 35(1970)10, p. 31
- 10) A. K. KARKPIT, V. P. SHEVCHENKO, N. M. LAPOTSHKIN, M. G. CHIGRINOV and N. M. FROLOVSKII: Ogneupor, 35(1970)7, p. 27
- 11) V. S. RUTES, V. I. ASKOLDOV and N. M. FROLOVSKII: Stal, 30(1970)6, p. 503
- 12) T. D. MEADOWCRAFT and R. J. Milbourne: J. Metals, 23(1971)6, p. 11
- 13) 栗田, 池田, 丸川: 鉄と鋼, 56(1970)14, p. 1819
- 14) 森, 田中, 平居: 鉄と鋼, 56(1970)14, p. 1824
- 15) V. S. RUTES, M. G. CHITRINOV, V. I. ASKOLDAY, E. P. BALLAD and P. N. TKACHEV: Stal, 30 (1970)10, p. 895
- 16) H. HOFF, H. LESSING, and MASING: Stahl u. Eisen, 76(1956), p. 1442
- 17) H. HOFF, G. VON DER DUNK, and H. LESSING: Stahl u. Eisen, 77(1957), p. 1210
- 18) Stahl u. Eisen, 80(1960), Umschau, p. 172
- 19) 浅野, 大橋, 塗: 鉄と鋼, 54(1968)6, p. 643
- 20) 森永, 池野, 大庭, 伊藤: 鉄と鋼, 47(1961)10, p. 1520
- 21) 森永, 大庭, 伊藤: 鉄と鋼, 49(1963)11, p. 1663
- 22) J. PHILIBERT: Symp. on X-ray Optics and X-ray Microanalysis, Proc. 3rd Inst., (New York, Academic Press) (1962), p. 365
- 23) D. M. POOLE and P. M. THOMAS: J. Inst. Met. 90(1962), p. 228
- 24) 学振第 19 委第 3 分科会資料, 19 委-9525(1973)
- 25) 熊井, 松永, 浅野, 佐伯: 鉄と鋼, (投稿中)