

酸性平爐操業と非金属介在物との關係に就て (I)

(昭和 26 年 4 月本會講演大會にて講演)

石 塚 寛*

EFFECT ON THE NON-METALLIC INCLUSION OF THE SMELTING
PROCESS IN THE ACID OPEN-HEARTH FURNACE

Hiroshi Ishizuka

Synopsis: The variations of non-metallic inclusion was measured by microscopic method during the refining process of 50 ton acid open-hearth furnace (lime process) in the case of chromium alloy steel, and the relation between the inclusions and the refining conditions was investigated. In this report are indicated the refining conditions to make refined steels.

The most profitable refining conditions for reduction of non-metallic inclusion were as follows:

- (1) Fit silicon amount at melt-down is about 0.4 per cent.
- (2) Chromium amount at melt-down must be as little as possible.
- (3) Fit decarburizing amount at the oring period is about 0.6~0.7 per cent and at the liming period is about 0.5 percent.
- (4) Fit use of ore is about 25~30 kg per ton and lime-stone is about 7~10 kg per ton.
- (5) Average decarburizing velocity must be within about 0.0024~0.0028 C% per min.
- (6) The oxygen amount in molten steel must be decreased as fast as possible after deoxidation.
- (7) At the time of pigging, ferro-silicon and ferro-manganese are to be added simultaneously with the preliminary deoxidizer.
- (8) Before ferro-chromium addition, large quantity of ferro-silicon must not be added.
- (9) Fit silicon amount before tapping-off is about 0.33~0.40 per cent.
- (10) The necessary ratio of Si/Mn ranges 1/1.5 to 1/2 to reduce the non-metallic inclusion.

I. 緒 言

筆者は先に學振第 19 小委員會制定の顯微鏡に依り非金属介在物を測定する方法を適用して鹽基性電弧爐操業と非金属介在物との關係を研究し、清淨鋼を得る爲の精鍊方法を指示したが、更に同様なる手段を用いて酸性平爐鋼の含有介在物量を測定し、精鍊法との關係を調べた。

酸性平爐に於ける介在物の輕減法に就て、小林博士²⁾、越谷氏⁴⁾、三井博士⁵⁾、P.N. Iwanow⁶⁾及び C. H. Herty⁷⁾等は酸溶解法でサンドを定量し、熔解作業から造塊に至る迄のサンドの消長或は熔鋼脱酸の問題を中心として其の除去法を研究せられ、有益なる結論を出されている。然しながら精鍊方法の各因子に亘つて介在物除去法を確立する爲には尙資料に乏しい様に思われる。依て本報告では精鍊の總ゆる諸因子に就て、介在物量に及ぼす影響を調べた結果を述べると共に、清淨鋼

を得る爲の精鍊法を指示し、介在物の輕減法確立に一指標を與えんとするものである。

II. 試 料

本試験は石灰法に依る 50t (實裝入 70t) 酸性平爐に就て行い、鋼種は第 1 表に示す低炭素から高炭素に及ぶ何れも低 Cr 合金鋼であつて、精鍊の各時期より 3.5kg 鋼塊を採取し、學振所定の顯微鏡的方法に依て其の含有介在物量を測定した。

III. 試 驗 結 果

A. 精鍊過程に於ける介在物の舉動

先づ石灰法に依る酸性平爐精鍊に於て、熔落より出鋼迄の介在物量の變化を代表的な 3 熔解に就て示すと第 1 圖の如くなる。こゝで A 種とは珪酸鹽及び硫化介在物を、

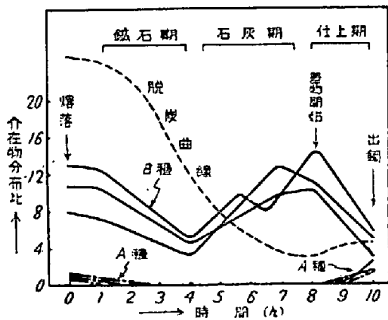
* 日本製鋼所室蘭製作所研究部

第 1 表

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
高炭素 Cr 鋼	0.85	0.20 ~0.30	0.20 ~0.30	<0.025	<0.025	—	1.60 ~1.80	—
中炭素 Ni-Cr 鋼	0.30 ~0.34	0.20 ~0.30	0.40 ~0.50	<0.035	<0.035	1.50 ~2.00	0.60 ~0.90	—
高炭素 Cr-Mo 鋼	0.60 ~0.70	0.30 ~0.40	0.50 ~0.70	"	"	—	0.80 ~0.90	0.30
中炭素 "	0.37 ~0.45	0.20 ~0.30	0.40 ~0.60	"	"	—	0.80 ~1.00	0.20 ~0.25
低炭素 "	<0.20	0.20 ~0.30	0.40 ~0.50	"	"	—	0.80 ~1.00	0.30
高炭素 Ni-Cr-Mo 鋼	0.50 ~0.55	0.20 ~0.30	0.40 ~0.60	"	"	1.30 ~1.70	0.70 ~1.00	0.20 ~0.30
中炭素 "	0.25 ~0.30	0.2G ~0.30	0.40 ~0.60	"	"	1.50 ~2.00	0.50 ~0.90	0.20 ~0.30

B種とは酸化介在物を示すが、酸性鋼の精錬中に含まれる介在物は其の大部分がB種の酸化介在物である。第1圖から判る様に酸化介在物は鑛石期に於ては酸化沸騰作

見出されるものと、然らざるものがあり、又分布比が極めて顯著な關係を有していても平均厚の無關係な場合もある。次に述べる試験結果では説明の煩雜さを省く爲に主として分布比の變化に就てのみ説明を加える事とし、平均厚の變化は比較的顯著なる傾向を示すもののみ圖示する事とする。



第1圖 精錬各期に於ける介在物の變化

用を受けて次第に減少し、脱炭反應が激しく起り初める頃は精錬中を通じて最も尠くなるが、石灰期では徐々に増加し、差物直前では精錬中最も多量の介在物を含有するに至る。次に差物としての脱酸劑が添加され初めてからは次第に減少し、出鋼直前では清淨な湯となる。即ち精錬の前期では多量の介在物を含有するが、後期に於て減少する。酸性平爐に於ける此等介在物は主としてSiO₂より成るものであつて、第1圖に示した増減傾向は酸溶解法に依て定量されるサンド量と殆んど同様なる傾向を示す。

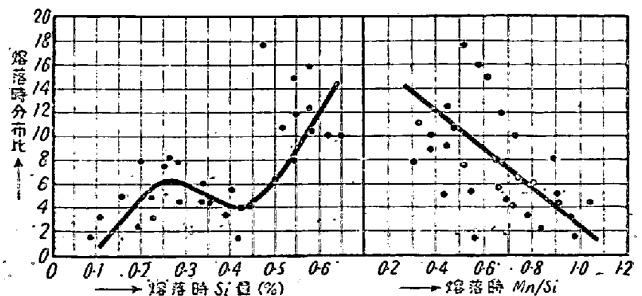
次にA種の精錬中に於る含有量はB種の其れに比べて極めて少く、差物以降若干量の MnS が生成するが、分布比3以上存在する事は稀で通常2以下である。

依て本報告に於ける非金属介在物とは酸化介在物のみを取扱う事とし、以下精錬との關係を各時期に就て順を追って述べる事とする。尙精錬中に於る酸化介在物の平均厚の變化は、一般的に見て分布比と略同様なる傾向を示しているが、其の變化の程度は比較的小さい。故に精錬の各因子と平均厚との間には、比較的明瞭なる關係の

B. 熔落より差物直前迄の介在物の變化

(1) 熔落時鋼浴成分との關係

熔落時の鋼浴成分の中最も關係のあるものは Si, Mn 及び Cr である。熔落時の Si 量は約 0.1~0.6% の廣範圍に亘つて居るが、介在物量との間には第2圖の如き關係が得られた。即ち Si の増加と共に介在物は漸次増加するが、約 0.25% あたりから減少し初め、約 0.40~0.45% で最小値を示す。更に多量の Si の存在は再び多量の介在物を生成せしむるに至る。斯様に Si は極めて變化に富む影響を與えるが、これは要するに脱酸生成物が不飽和の液狀珪酸鹽を生ずる場合、無水珪酸及びこれに飽和せる液狀珪酸鹽を生ずる場合、更に固體無水珪酸を生ずる場合等に依る爲であつて、Schlenck-Brüggenmann 及び Körber-Oelsen 等⁵⁾に依て此等の關係が明かにされている。熔落の Si 量は 0.4% 位が望ましい。

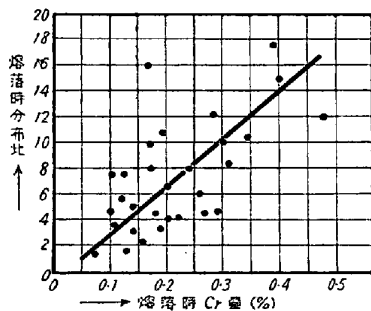


第2圖 熔落時 Si 量と介在物量との關係

第3圖 熔落時 Mn/Si 比と介在物量との關係

Mn 量との間には極めて撒つきが多いが、一般に Mn 含量の大なる時介在物は多い様である。この傾向は P.N. Iwanow の報告⁶⁾ 及び筆者が鹽基性電弧爐に就て調べた結果⁷⁾ と相反するものである。これは熔落時の鋼滓中には多量の (FeO) を含む爲に、 $(FeO) + Mn \rightarrow (MnO) + Fe$ の反應に依て介在物が増加し易い事並に鹽基性電弧爐で見られた様な鋼浴の過酸化防止の効果が期待されない事等に依ると考えられるのであるが、酸性爐熔解では鋼浴中に多量の $[SiO_2]$ が存在するから Mn 量單獨の影響を見るよりも Mn と Si の量的關係に就て考えた方が妥當と思われる。依て第 3 圖には Mn/Si と介在物量との關係を示した。熔落時の Mn と Si の比は約 0.2 ~ 1.0 の範圍に亘つて居るが、圖から明らかな様に割合明確なる傾向を示して居り、この兩元素が略等量存在する時介在物は少い。尙この比率に就ての詳細なる検討は次節で述べる。

次に Cr 量との間には第 4 圖に示す様に、Cr 量の大なる時介在物量が多い。この傾向は鹽基性電弧爐の場合



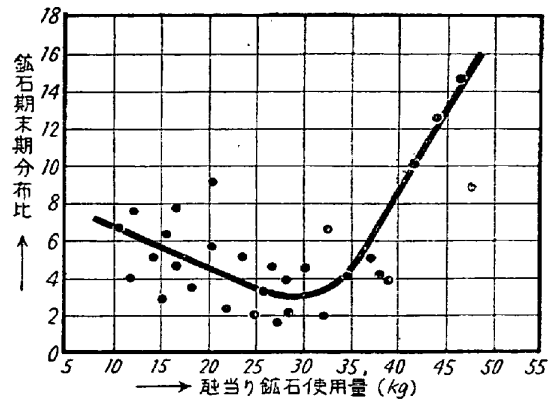
第 4 圖 熔落時 Cr 量と介在物量との關係

と相反する現象であつて、これは要するに酸性爐熔解では SiO_2 固溶度の異なる $SiO_2-Cr_2O_3$ 系介在物が生成する爲である。

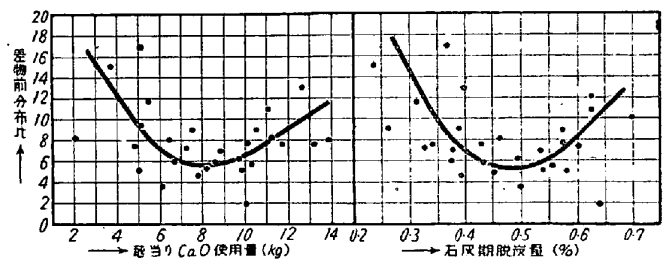
(2) 鑛石投入量及び石灰石投入量との關係

熔落後鑛石の投入に依る沸騰攪拌に依て介在物は除去されるが、鑛石の投入量は介在物量に大なる影響を與える。第 5 圖には t 當り鑛石使用量と鑛石末期介在物量との關係を示したが、鑛石量不足に依る沸騰の不活潑さは介在物の酸化除去を充分促進するに足らず、一方亦多過なる場合には湯の過酸化を増長すると共に激しい沸騰に依る爐床の破損等に依り介在物増加の原因となる。t 當り使用量は約 25~30kg が最も適當である。

次に石灰石使用量とは第 6 圖に示す様に極めて顯著なる傾向を示して居り、t 當り使用量約 7~10kg の時差物前介在物量は最も少い。これは要するに CaO の置換反應に基く脱炭作用に影響される事を意味するものと考



第 5 圖 尅當り鑛石使用量と鑛石期末介在物量との關係



第 6 圖 第 7 圖

第 6 圖 尅當り石灰使用量と差物前介在物量との關係

第 7 圖 石灰期脱炭量と差物前介在物との關係

える。

(3) 脱炭量との關係

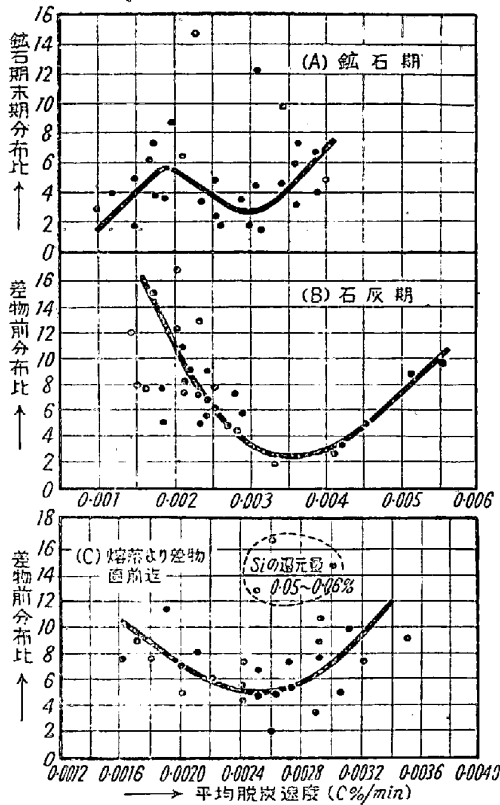
介在物量に及ぼす脱炭量の影響は概念的に上述の鑛石及び石灰石投入量の影響と相對應するものと考えられるが、鑛石期に於ける脱炭量と介在物量との間には明確なる關係は認められなかつた。これに反して石灰期では第 7 圖に示す様に極めて顯著なる傾向が見られ、脱炭量 0.5% 位の時介在物は最も少い。これは第 6 圖に示した石灰石使用量の影響と相對應するものである。

次に熔落より差物直前迄の脱炭量と差物前介在物量との間には、鑛石期での影響が不明瞭な爲に稍撒つきが見られ且其の傾向は顯著ではないが、約 1.1~1.2% の時介在物は減少する傾向を示している。隨て鑛石期での脱炭量は約 0.6~0.7% を目標とし、熔落 C 量は製品の C 量と上記脱炭量を考慮に入れて定むべきが至當と考えらる。

(4) 脱炭速度との關係

脱炭速度は沸騰精鍊の強さを指示する最も代表的なものであるが、介在物の含有量に對しては極めて顯著なる影響を與える。第 8 圖にはこれ等の關係を示した。即ち同圖 (A) に示した鑛石期の平均脱炭速度と鑛石末期介在物量との間には非常に變化に富む關係が認められるのであつて、脱炭速度の極めて遅い場合には介在物の酸化

除去は起らず、むしろ湯の酸化に伴つて介在物は徐々に増加するが、脱炭速度が約 0.002 C%/min 以上になると酸化除去が活潑に行われ初め、約 0.003 C%/min 程度の時介在物は最も低値を示す。更に脱炭速度が過激になると介在物は再び増加する。

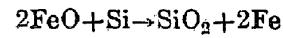


第8圖 脱炭速度と介在物量との關係

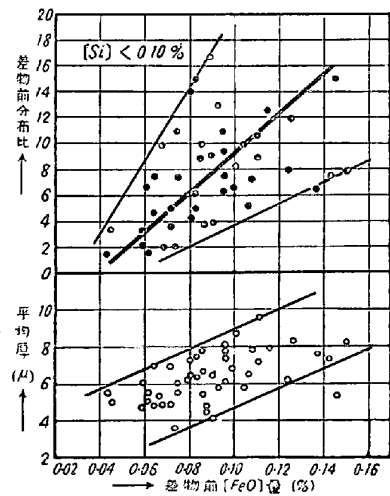
次に石灰期の平均脱炭速度と差物前介在物量との間には同圖(B)に示す様に、約 0.003~0.004 C%/min の時介在物は減少する傾向を示しているのであつて、餘りに過激な場合は勿論、緩慢なる場合にも介在物は増加する。然しながら此の場合介在物を除去せしむるに必要な脱炭速度は比較的大きい様に見受けられるが、一般に脱炭速度は鑛石末期から石灰初期に亘る時期で最大となるから、石灰期の脱炭速度には鑛石投入に依る脱炭反應が多分に加算されて來る。依て熔落より差物直前迄の平均脱炭速度との關係を調べた。同圖(C)はこの結果を示す。即ち約 0.0024~0.0028 C%/min 程度の脱炭速度を與えれば介在物は減少する傾向を示すわけである。脱炭速度に就て P.N. Iwanow 等⁶⁾は 15t 爐に就て 0.0040~0.0045 C%/min が適當であると報じているが、何れにしてもこれは爐の大き、操業法等に依て適當な速さがある。石灰法に依る 50~70t 位の爐では上記範圍が最適であろうと考える。

(5) 差物前鋼浴成分との關係

石灰期に於て介在物は一般に増加する事は既に第1圖で示した通りであるが、介在物の主成分は通常 SiO_2 であつて、これは



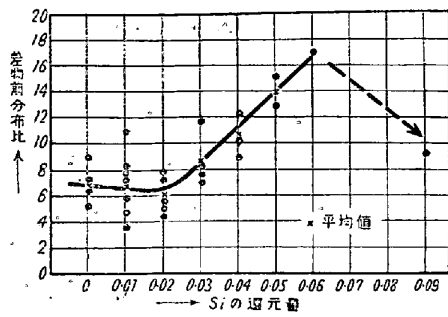
なる反應に依て生ずるものであるから、鋼浴中に於ける FeO 及び Si の含有量多き程多量の介在物を生ずる事となる。今熔落より差物直前迄の精錬中に於ける酸素量及び Si 量を介在物量と比較して見るに、脱炭反應が盛んに起る様になつてからの介在物量は酸素量と Si 量に略比例して増加しているものと観られる。隨て差物前の介在物量を軽減させるには鋼浴の酸素量を適當に減少させる事が緊要である。第9圖には差物前に於ける [FeO] 量と介在物量との關係を示したが、Si 含量の比較的少い差物前に於ては [FeO] 量の増加するに従い其れに對應する介在物の含有範圍は廣くなり、特に著しい傾向は示し難い様であるが、何れにしても [FeO] 量の小なる時介在物は少い。尙此の場合介在物の平均厚と [FeO] 量との間には比較的明瞭な關係が認められた。



第9圖 差物前 [FeO] 量と介在物量との關係

次に Si の影響に就ては其の還元量が最も著しい影響を與える。Si の還元量は各工場の特質に應じて異なるものであるが、本熔解の様に其の還元量が比較的少い場合、差物前介在物量との間には第10圖の如き關係を有する。即ち Si の還元量が少い場合には $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$ の反應に依て不飽和の微細な SiO_2 が多量に生成する。依て差物前の介在物を減少せしむる爲には、Si₂ の還元量をせいぜい 0.02% 位に抑制するか、さもなくば或る程度多量の Si を還元せしめて酸素を減ずる如き精錬法を講ずべきであろう。

酸化末期の C 量は湯の純度に及ぼす影響が大であり、C の低下と共に酸素の溶解度が増す故に酸化介在物は C



第 10 圖 Si の還元量と介在物量との關係

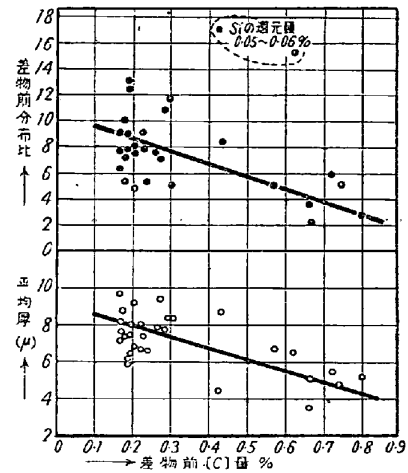
量と大なる關係があると考えられる。本試験では C 約 0.20~0.85% に亘る Cr 合金鋼を取扱つたのであるが、製品の C 量の少いものは差物前の C 含有量を可成り低くする。随て C と FeO との平衡關係より、C 濃度の低下と共に鋼浴中の酸素が富化する爲に、低炭素鋼は高炭素鋼に比べて一般に多量の介在物を含有し易い。第 11 圖はこの關係を示したものであるが、分布比のみならず平均厚も亦極めて著しい影響を受けている。

差物前の介在物量に影響を及ぼす鋼浴成分としては上記 Si, FeO, C の外に Cr の影響を見逃す事が出来ない。第 12 圖(圖省略)には差物前 Cr 量との關係を示したが、極めて密接なる關係を有するものであつて、これは第 4 圖に示した熔落時の影響と全く同様である。介在物を軽減せしむるには装入材料の含 Cr 率に充分なる注意を向けるべきである。(以下 6 月號に續く)

(昭和 26 年 10 月寄稿)

文 献

1) 筆者: 「鹽基性電弧爐操業が非金属介在物に及ぼ



第 11 圖 差物前 [C] 量と介在物との關係

す影響に就て」, 鐵と鋼, 第 37 年第 7 號, 4
 2) 小林佐三郎: 鐵と鋼, 第 22 年, 第 9 號, 688
 3) 小林佐三郎: 鐵と鋼, 第 28 年, 第 6 號, 641
 4) 越谷粕藏: 鐵と鋼, 第 35 年, 第 12 號, 22
 5) 三井三郎, 小東哲: 日本金屬學會誌, 7 卷, 第 5 號, 220
 第 8 卷, 第 7 號, 323
 6) P. N. Iwanow, S. P. Samotajew u. E. A. Morosowa: Archiv f. d. Eisenhüttenw, 10 (1937) 501.
 7) C. H. Herty & J. E. Jacobs: Trans. Amer. Soc. Steel Treating, 1931, 270.
 8) H. Schenck: Physikalische Chemie der Eisenhüttenprozesse, Bd II (1934), 197.