

- 6 (1933) S 283~288, 7 (1934) S 359~363.
- 2) 岩瀬及佐野: 日本金屬學會第3分科會講演. 昭和23年4月.
- 3) 下田: 日本鐵鋼協會講演. 昭和22年10月.
- 4) 松本: 日本金屬學會講演. 昭和23年4月.
- 5) 河田: 日本金屬學會誌. 6卷9號 487頁.
- 6) 著者: 鐵と鋼. 32年7~9號 13頁.
- 7) 著者: [Moを含むSi-Mn-Cr鋼の滲炭組織] 第2報「鐵と鋼」35年9號 (昭和24年9月號).
- 8) E. Heyn: The Journal of the Institute of Metals No. 2. 1914, p. 3.
- 9) Driesen: Ferrum 11 (1914). p. 129.
- 10) E. Maurer 及 W. Schmidt: Mitt. Kais-Wilhelm Inst. 1921. S 4.
- 11) M. Okochi 他: Tokyo Imp. Univ. J. Coll. Eng. Vol. 9. No. 5. 1918. p. 153~195.

製鋼過程に於ける非金属介在物の定量法及除去法 (II)

非金属介在物の舉動並に除去法の研究

(日本鐵鋼協會第33回講演大會講演 昭22. 4. 於東京)

越 谷 粕 藏*

METHOD FOR THE DETERMINATION AND ELIMINATION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN MOLTEN STEEL (II)

(Change and elimination of non-metallic inclusions in steel making)

Kasuzo Koshiya

Synopsis: —

1. The author measured the change of inclusions in the processes of refining in acid and basic open-hearth or electric arc furnace. The inclusions are assorted as follows.

- (1) Inclusion coming from outside.
- (2) Inclusion in metal.
- (3) Inclusion which occur during solidification.

2. In case of acid open-hearth process, we must keep an eye upon a large quantity of inclusions which came from outside or those occurred in solidification.

3. Ordinary method for eliminating non-metallic inclusions are as follows.

- (1) Prevention of inclusions coming from hearth.
- (2) Elimination of oxygen in metal. (By ingenious utilization of deoxidation with silicon.)
- (3) Decreasing oxidizing power of slag. (Making heavy slag in the final process of refining.)
- (4) Preventing from mixing of fire-clay and oxidizing by air after tapping.
- (5) Control of constituents in metal. (Increasing both manganese and silicon and ingenious utilization of aluminum.)
- (6) Active elimination of inclusions in metal. (Utilization of agent which eliminate inclusion as Fe-Mn slag or CaF₂.)

4. The author has also investigated some special points of eliminating inclusions in each steel making process.

I: 緒 言

製鋼過程に於ける非金属介在物除去法に就ては、實際的並に理論的の兩方面から極めて多數の研究が發表され

てゐるが、實際操業に於てはそれらの結論の總てを満足に實施することは事實上殆んど不可能である。

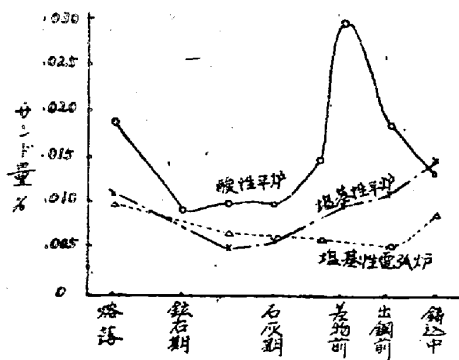
* 日本製鋼所室蘭製作所。

本研究では第1報で報告した分析法を適用して介在物の挙動並に除去法に就て、その核心となるべきの条件を重點的に摘出して探究し、その結果を電弧爐、酸性及鹽基性平爐の三製鋼法の特長に應ずる作業法に具體的に適用した結果の概要を報告する。

II. 製鋼過程に於ける介在物の挙動

現今の代表的製鋼法は酸性平爐法、鹽基性平爐及電弧爐法であらう。電弧爐には酸性及鹽基性の別があるが、酸性爐は數も少く、酸性平爐の反應と類似であるから鹽基性電弧爐の方が重要な研究對照である。これらの各製鋼法はそれぞれ特長があるので製鋼法の内容も相違してゐるが、酸化-脱酸の根本方式に於ては共通の反應を利用した製鋼法である。従て先づ一般的の脱酸並に介在物の問題を研究すれば直に各製鋼法に適用し得る操業指針となる譯である。

上記代表的製鋼法の精鍊途中に於ける非金属介在物(從來の慣習上サンドと云ふ言葉をしばしば用ひる。)の増減傾向を多數の測定で比較すれば第1圖の通りである。同一製鋼法に於ては特別の精鍊法を實施しない限り同一製鋼工場の精鍊途中に於ける毎回のサンドの稍長は大體一定してゐて著しい變化はないものである。然るに製鋼法が相違すればサンドの變化狀況も著しく相違して来る。



第1圖 精鍊過程に於けるサンド量の變化

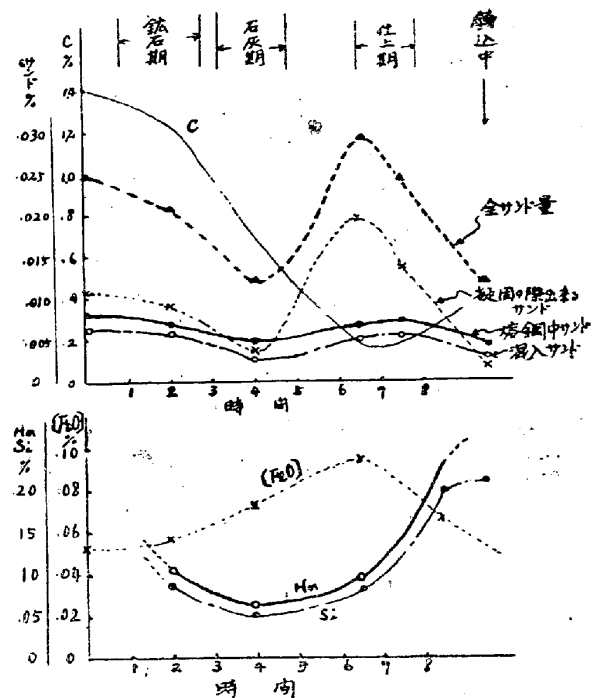
第1圖に依れば鹽基性熔解に於ては途中のサンド量は概して輕少で變化も少く、末期に至つて増加する傾向を示す。これに反して酸性熔解は精鍊途中のサンド量が多く、その變化も激しく末期には減少の一途を辿つてゐる。従て介在物の稍長や除去法を考究するには、鹽基性熔解よりも酸性熔解の方が變化が多く、それだけ有益な指針が得易い。又酸性平爐は精鍊時間も長いので實驗も容易であり、平均試料も得られ易い長所がある。それで一般的研究對照としては酸性平爐の熔解を利用した。

第1圖の介在物量の變化は第1報に報告した小鋼塊試

料に温硝酸法を適用したものである。ところで從來考へられてゐる介在物をその成因から分類すれば次の三種類である。

- a) 混入サンド(爐床等より機械的に混入したもの)
- b) 熔鋼中のサンド(脱酸生成物として懸濁するもの)
- c) 凝固時に出来るサンド(温度降下で急に脱酸したもの)

この分離定量は極めて厄介であるから今まで行はれたことがないのであるが、筆者はこれを次の方法で分離定量した。即ち小鋼塊試料と真空採取器による試料とを同時に採取すれば、小鋼塊試料からは前記三種の介在物(a+b+c)が、真空採取試料からは(a+a)の介在物が定量出来る、更に(a+b)は介在物の形狀に稍著しい差があるので、この摘出サンドを擴大鏡下で苦心して選別してaとbとを大略分離する事が出来た。斯様にして酸性平爐の精鍊過程に於ける三種の介在物の挙動を實測した一例は第2圖の通りである。



第2圖 酸性平爐の精鍊過程に於けるサンドの挙動

第2圖の通り熔鋼中に懸濁してゐる脱酸生成物のサンドは案外輕少であつて、むしろ爐床等からの混入サンドがこれと同等に重要である。従て堅固な犯され難い爐床を構築することが重要な條件であることが判る。

次に注目すべきことは、凝固時に生成するサンド量は熔鋼中の[FeO]量と同一の傾向を示すことである。即ち[FeO]の多いものは凝固時に $2FeO + Si \rightarrow SiO_2 + 2Fe$ の反應を起して鋼塊の介在物を増加することである。

III: 介在物の一般的除去法

第2圖の測定結果から熔鋼の介在物を減少させるには

(1) 熔鋼の酸素量を減少させること。

(2) 爐床その他からの混入サンドを防止すること。

この二點が重要であつて、熔鋼中には脱酸の結果生成されたサンドは豫想外に少いことが確認されたのである。換言すれば脱酸生成物の浮揚除去は案外迅速に行はれる。

1. 熔鋼の酸素減少法

先づ熔鋼の酸素を減ずる手段としては色々の方法があるが、最も端的で効果のある方法は脱酸剤の適切な利用であらう。これに對する基礎的研究は既に小林博士¹⁾が報告されてゐるが、要するに Fe-Si, Si-Mn 或は Ca-Si 等の Al 又は Al 合金以外の脱酸剤を少量熔鋼に添加して攪拌するだけでも鋼塊のサンドを著しく減少し得る。換言すれば脱酸生成物たる SiO₂ は豫想外に浮揚し易いことである。然るに實在のサンドの大きさは大部分が 0.01mm 以下であるから理論上からは斯様な浮揚速度は得られない。それで斯様に迅速に浮揚するには他の原因が無ければならない。

それで考へ得られることは脱酸生成物たる SiO₂ は熔鋼に或る程度熔解するのではないかと考へられる。即ち SiO₂ は直ちに固體として析出するのではなくて、一旦熔鋼に飽和されその過剰が逐次絞り出されて小滴となつて析出するものと思はれる。析出當初の小滴は半融體で粘着性も大きい筈で、(高温の熔鋼内で生成される SiO₂ は常に粒狀であるから生成當初は融體に近いことを示してゐる。) 相互に結合して大粒となり容易に浮揚し去るが、接着し得る SiO₂ の粒子が減少して結合する機会を失へば熔鋼に残留するものと考へられる。

更に小林博士に依れば MnO も熔鋼に溶解しその反應恒数は次式で示されてゐる。

$$K = \frac{[\text{MnO}]}{[\text{FeO}][\text{Mn}]} = 0.18 \quad (1650^\circ\text{C})$$

從て脱酸生成物たる SiO₂ は熔鋼中に共存する MnO を吸着してその表面は融點を低下して一層粘着を増す事になる。MnO が減少すれば上記恒数を満足せんとして $[\text{FeO}] + \text{Mn} \rightarrow [\text{MnO}] + \text{Fe}$ の反應は促進されるから Mn の含量は微量でも脱酸に參與する。従來は Si と Mn との共存比率を重要視したが Mn の含量は必ずしも多量を必要とせず Si に誘導されて MnO を生ずるので、Mn は 0.2% 位あれば充分サンド除去の役割を果す。

これを要するに Mn の適量 (0.2% 以上) の共存に於て Si 0.3% 以上含有させると熔鋼の酸素及サンドは軽減されるが、それには他から熔鋼が酸化されないと云ふ條件が必要である。即ち鋼滓が不活性で遊離 FeO を多く含まないことである。例へば酸性平爐の實驗では Si の還元が良く行はれる様な鋼滓のときは良好であるが、その反對の場合は Si に依る強制脱酸の効果は薄らいで鋼中のサンド量は増加する。従來精錬作業の全般を通じて鋼滓の調整に非常な苦心を拂つた理由は實にこの點にあるものと思はれる。筆者も鋼滓の性質に對しては同様に重視するものであるが、唯酸化期よりも還元期の鋼滓が適當に粘稠で活性の FeO が少いことを強調するものである。

2. 耐火材料の混入量

以上は爐内精錬中の熔鋼に對する研究であるが、次は出鋼から造塊までの過程に對する研究である。元來熔鋼は常に耐火材料に接觸してこれを機械的に或は化學的に混入するもので、混入耐火物の相當多量が熔解表面に浮揚することは日常容易に認められるのであるが、尙充分に浮揚せずに残留するものも多い。鋼塊中のサンド分析に於て Al₂O₃ の増加を取鋼、懸堰等の耐火粘土の混入に原因するものと假定すれば第1表に示す通り、全サンド量の約 30% はこれらの粘土が混入して残留したものとなる。

第 1 表 出鋼後の耐火物の混入

(1) 鋼滓及粘土の成分別

		化 學 成 分 (%)				
		SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	CaO
鋼 滓	出 鋼 前	62.43	13.68	8.08	1.94	12.05
	鑄 型 内	56.75	4.10	28.96	6.88	1.54
耐 火 粘 土 (造塊に使用)	1	41.62	5.09	1.0	45.0	1.97
	2	56.86	5.19	—	38.8	—

1) 小林: 鐵と鋼 第 28 年 641 頁.

(ロ) 混入粘土の計算例

番号	時期	サンド (%)	サンド組成 (%)				混入粘土 (%)			
			SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	計算値	平均		
出鋼より懸堰迄	1	出鋼前	0.136	63.3	0.3	16.3	20.1	9	20	
		懸堰	0.130	62.0	0.7	12.9	24.4			
	2	出鋼前	0.068	78.2	11.0	4.7	6.1			31
		懸堰	0.087	62.5	8.0	8.0	21.5			
	3	出鋼前	0.170	79.2	tr	2.6	18.4			21
		懸堰	0.169	64.2	tr	7.4	28.4			
懸堰鑄型より	1	懸堰	0.203	70	3	4	18	14	9	
		鋼塊	0.225	66	3	6	25			
	1	懸堰	0.244	55	2	8	55			4
		鋼塊	0.215	68	5	10	17			

混入粘土含有平均量 (全サンド量に對して) 約 30%

3. 出鋼時の熔鋼の酸化

熔鋼は出鋼から鑄込までの間に空氣と接觸する機會も多いので、空氣の爲に酸化されて熔鋼の FeO 量は増加する。一例を第2表に示した。

第2表 出鋼より鑄込までの酸素の増加

時期	出鋼前	懸堰内	鑄型内
溫度 °C	1680	1570	1530
[FeO] 實測値	0.057	0.045	0.030
[FeO] 理論値	0.050	0.020	0.015

即ち熔鋼の酸素は溫度降下と共に Si の脱酸率に相當して減少する筈であるが、絶えず空氣の爲に酸化されるので鑄型内に注入直後に於ても理論量の約2倍の酸素を含有してゐる状態である。従てこの酸素が Si 及 Mn と反應してサンドを形成することは明白で、その量も輕視出來ない量となるであらう。斯様に空氣に依る酸化が豫想外に多いものであつて、熔鋼の奔流や細流多岐になる

様な出鋼又は鑄込が行はれた場合に至つてはその害は多大なものがあらう。

4. 熔鋼成分の影響

熔鋼の化學成分とサンド量又はその大きさの間には重要な關係のあることは良く知られていることであるが、第3表もその實驗例で、一般に Mn の多いものは大粒のサンドを生じ易い。又 Mn と共に Al を投入した場合も大粒となる。これは MnO, Al₂O₃, SiO₂ の三成分が互に結合して融點の低いサンドを生成する性質がある爲と考へられるので、Al を利用する場合には Si を多くして Mn をなるべく少量にするが良い様である。同様の意味で Mn の多い熔鋼は取鍋、懸堰等の粘土質と反應して大粒サンドを作り易いから注意を要する。

5. 積極的除去法

以上は製鋼過程に於ける一般的消極的減少法であるが、他方に於て脱砂劑 (丁度銑鐵にソーダ灰の如き脱硫劑がある様に) を利用する積極的除去法も研究する必要

第3表 化學成分と鋼塊サンド比較例

鑄型	添加劑	化學成分 (%)			サンド (%)	サンド組成 (%)				サンドの大きさ
		C	Si	Mn		SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	
金型	—	0.28	0.20	0.41	0.0195	69	8	12	11	中粒あり
	Fe-Si	0.27	0.37	0.43	0.0097	57	12	9	22	小粒
	Fe-Mn	0.29	0.19	0.70	0.0175	66	5	16	13	稍大粒あり
	Si-Mn-Al	0.29	0.38	0.75	0.0056	49	6	19	26	大粒あり
	Si-Al	0.28	0.36	0.42	0.0080	56	6	7	31	小粒
砂型	Fe-Si	0.23	0.38	0.41	0.0105	53	9	13	25	中粒あり
	Fe-Mn	0.29	0.20	0.35	0.0194	52	6	22	20	大粒あり

がある。この脱砂剤を利用する除去法に就ては多数の實驗を行つたのであるが一般的に充分効果あるものは見出されなかつた。只 Fe-Mn 滓の少量又は螢石の細粒を出鋼中の取鋼に投入して能く攪亂させるとサンド軽減に有効である。第4表はその一例である。特に Al を含有する熔鋼に對しては螢石を投入すれば明かにサンドを減少させることが出来る。

第4表 熔鋼サンドの積極的除去法

a) 小鋼塊による試験

添加剤	添加量 (%)	サンド量 (%)	
		添加せず	添加後
Fe-Mn 滓 { MnO 22% SiO ₂ 33 CaO 35	—	0.0106	—
	0.25	—	0.0067
	0.50	—	0.0081
	0.75	—	0.0100
	1.50	—	0.0106
螢石	—	0.0145	—
	0.2	—	0.0090
	0.2	—	0.0095
	0.5	—	0.0155

b) 電弧爐鋼への實施例 (0.25~0.30% 投入)

添加剤	熔番	解號	サンド量 (%)		鋼種
			出鋼前	鑄込中	
Fe-Mn 滓	691		0.0095	0.0100	Mn-Cr 鋼
	721		0.0105	0.0083	Ni-Cr-W 鋼
	773		0.0118	0.0107	Mo-Cr 鋼
螢石	704		0.0177	0.0099	Cr-Al 鋼
	795		0.0131	0.0073	

以上述べたところを要約すれば次の7項となる。

- (1) 爐床を堅固に構築すること。
- (2) 精鍊末期の酸素量を出来るだけ減少させることその爲には仕上期の鋼滓を不活性にすると共に Si を稍多く含有させて強制脱酸を行ふと良い。
- (3) 出鋼以後の空氣に酸化されてサンドの原因を作るから、出来るだけ空氣との接觸面積の少い様に造塊作業をすること。
- (4) 造塊作業に使用する熔鋼受器の裏付材料を清淨堅固ならしめて外部からの混入を防止すること。
- (5) なるべく熔鋼の Mn 量を減じて Si を稍多くすること。
- (6) 出鋼中の取鋼内へ少量の螢石又はマンガン滓を投入して混合すればサンドを減ずる傾向がある。

(7) 一般に熔鋼の着熱を容易迅速ならしめることが製鋼作業を順調ならしめると共に、サンドを減少さす爲の根本要素である。

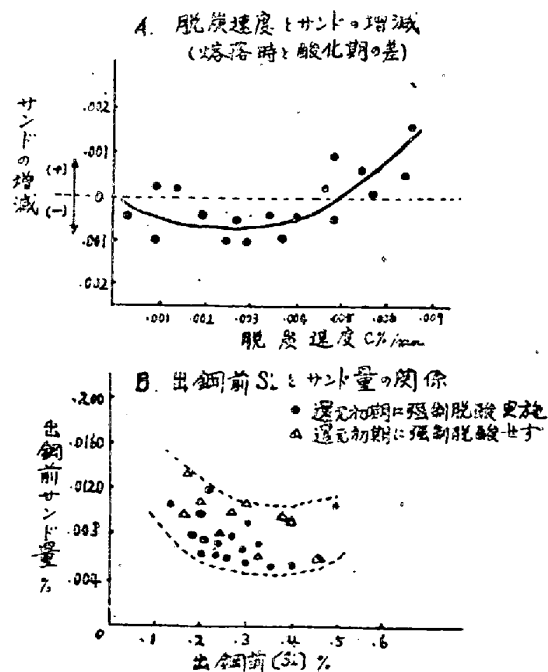
IV: 各製鋼法に於ける除去法

前節の非金属介在物の一般的除去方針はそのまゝ各製鋼法に適用し得る事項であるが、製鋼法に依り多少その實施方法に改訂を要するところもあるので、次に鹽基性平爐、鹽基性電弧爐及酸性平爐の各製鋼法の實際に就て述べる。

1. 鹽基性電弧爐に於ける除去法

鹽基性電弧爐の場合には酸化期と還元期に別けて、酸化期は沸騰精鍊、脱磷及過酸化防止の三點を主目標とする。沸騰精鍊はガス及介在物の除去に有効であると云はれてゐるが、實驗の結果は第3圖Aの通り脱炭速度0.003% min 程度が適當である。酸化期の過酸化を防止することは還元作業を圓滑にする上に緊要であるが、従來の如く Mn のみに頼ることは不適當である。炭素と酸素及 Mn と酸素の平衡から判定すれば、熔鋼の酸素を Mn のみで抑制することは困難で、寧ろCの方が有効である。従て酸化末期のCを0.15%以上に保つ限り酸化期に Mn を特に使用する必要はない。

次に還元期に於ては従來は強カーバイト滓を以て熔鋼を還元することを強調して、脱酸剤は補助的にすら考へられた傾がある。然るに如何に強カーバイト滓を構成しても常壓に於ては、その時のC量に相當する酸素量以下に下らぬことは理論の示すところで、強制脱酸剤の適量



第3圖 鹽基性電弧爐に於けるサンド減少法

は常に添加しなければならない。強カーバイト滓を作ることは一面に於て水素増加の原因となる。一方前節に於て述べた通り適當の強制脱酸をすることは却て介在物輕減に有効であるから、電弧爐に於ても操業の容易な白滓又は弱カーバイト滓法を利用し、酸素の除去には Si に依る強制脱酸を活用すべきである。即ち第 3 圖 B に示す通り還元初期に Si を 0.1% 含有せしめて還元期操業を容易ならしめ、更に最後に Si 含量を 0.3% 前後にすれば比較的サンドの少い熔鋼が容易に出来る。尙最終脱酸劑投入より出鋼までの時間は 15~25 min が適當である。

2. 鹽基性平爐に於ける除去法

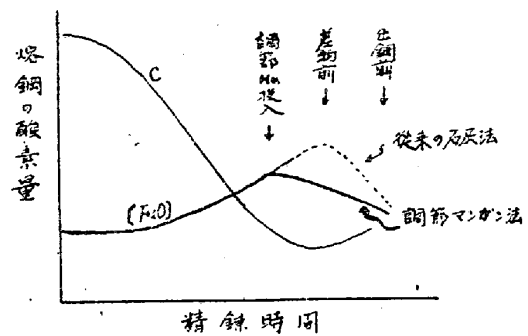
鹽基性平爐に依る特殊鋼熔解に於て最も重要な事項は水素の防止と非金属介在物の輕減である。然るに非金属介在物を輕減せんとして爐内脱酸を強行すれば逆に水素の増加が甚だしく製品成績は著しく劣化し、その害は非金属介在物の比ではない。従て鹽基性平爐に於ては脱磷と水素防止に重點を置いて精鍊を行ひ、脱酸並にサンド除去は取鋼に於ける強制脱酸を利用するが得策である。取鋼に於て強制脱酸を適當に施せば前節に示した通りサンドの輕減は比較的容易に行はれる。

3. 酸性平爐に於ける除去法

酸性平爐熔解に於て非金属介在物を減少する方策としては、既に述べた一般の方針通りであるが、精鍊末期の鋼滓活性度を減じて強制脱酸の効果を十分に現す具體的手段としては次の方法が有効であることが判明した。即ち所謂石灰法に於て石灰期の後半に少量の Fe-Mn (Si-Mn でも良い) を投入する方法である。Fe-Mn の投入量は鋼滓の状況に依つて多少の差はあるが、熔鋼に對し 0.2~0.3% を一回に、又は二度に分割して添加するのが適當である。

その結果は第 4 圖の通り従来の石灰法よりも熔鋼の酸素は輕少となり勢ひ鋼塊のサンドも減少する。例へば鑄込直前の熔鋼に就て従来の石灰法とサンド量を比較した平均値は次の如く本法(筆者はこの方法を調節マンガ法と假稱してゐる)の有効なことを示してゐる。

従来の石灰法に依るサンド量の平均.....0.011%
 調節マンガ法に依るサンド量の平均.....0.008%



第 4 圖 調節 Mn 法に依る [FeO] の變化

次に爐床が悪い場合は混入サンドが増加することは既に述べたところであるが、現在の様に優良珪石の入手不足の際に低品質のものを無定見に使用すれば、サンドを増すばかりでなく、湯熱は上昇せず鋼滓は不整となり到底正規の精鍊は不可能となる。珪石の品質に就て實驗した結果は第 5 表の如く Al₂O₃ を含むものが湯熱は低く、鋼滓の Al₂O₃ も増大して爐床の熔損も多い。Fe₂O₃ の多少あるものは差支へない。

尙酸性平爐に於ては精鍊の末期に Si の還元現象が起るがその程度に就ては色々の説があつて一定してゐない。依て Si の還元量とサンド、酸素、水素等との關係を試験した結果次の結論を得た。

- (1) 爐床が堅固であれば Si 0.10% 位還元する時が酸素も少くサンドも輕微となる。
- (2) Si の還元が多過ぎる時は水素を激増するか、或は爐床が熔損してサンドが増し易い。
- (3) 調節 Mn 法に依れば Si の還元が比較的容易で而も水素が増加しなくて好都合である。

以上各製鋼法に於ける除去法は脱磷、脱硫及脱ガス等の研究と共に夫々の機會に學振 19 小委等に報告したもので、各熔解作業標準決定に際して加味されてゐる事項であるから以上の如くその概要を述べるに止めた。

V: 結 論

以上の研究結果を要約すれば次の通りである。

- (1) 介在物の舉動は同一製鋼法では類似の變化をし、製鋼法が異れば様相は全く異なる。

第 5 表 爐床用珪石の品質の影響

珪石種類	珪石成分 (%)				出鋼前鋼滓成分 (%)					出鋼温度 (°C)	總評
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	S. K	SiO ₂	FeO	MnO	CaO	Al ₂ O ₃		
白珪石	99.4	.4	.2	35	64.5	14.2	11.0	7.9	3.0	1688	良
赤白	98.3	1.2	.4	34	64.3	10.8	13.0	8.3	2.7	1675	良
含 Al ₂ O ₃ 赤白	97.5	.7	1.3	34	62.1	12.7	11.9	6.9	5.7	1655	不良

(2) 實測した結果に依れば熔鋼中に實在してゐるサ
ンドは豫想外に少く、脱酸生成物と同等に爐床等からの
混入サンドが重要視される。

(3) 固鋼のサンド量は熔鋼の酸素量に左右される。

以上のことから介在物を軽減する根本原則は次の二項
が重要である。

(4) 外部からの混入サンドを防止すること。

(5) 精鍊末期の熔鋼の酸素量を減少せしめること。

この原則を満足せしめる爲の一般的手段としては、

(6) 爐床を堅固に構築すると共に、造塊作業に使用
する耐火材料に注意し、造塊器具は堅固且つ清淨にする
こと。

(7) 仕上期の鋼滓を不活性にすると共に、Si を稍
多く加へて強制脱酸を行ふ。

(8) 出鋼以後の熔鋼の空氣に依る酸化を少くするこ
と。

(9) 尙出鋼中の取鍋内に少量の Fe-Mn 滓又は螢石

を投入して混合すれば、サンドを減ずる傾向がある。

以上の事項を各製鋼法の特長に應ずる様に具體的に適
用すれば、

(10) 鹽基性電弧爐に於ては、酸化期の脱酸速度を
0.003 % min とし、還元初期に Si で強制脱酸をし白
滓法で仕上げる。

(11) 鹽基性平爐では、水素の激増を防止する爲爐内
脱酸は輕微とし取鍋脱酸を強行する。

(12) 酸性平爐に於ては、石灰期に少量の Fe-Mn を
加へる所謂調節マンガンを法を利用して、鋼滓を調整し熔
鋼の脱酸を良好ならしめる。

終りに臨み御指導を賜つた日本製鋼所室蘭製作所長小
林佐三郎博士に深甚の謝意を表すると共に、種々有益な
御教示を賜つた依國一博士又實驗に助力された岩間勇
並に安藤重友の兩君に感謝致します。

(昭 23. 10 月寄稿)