

純酸素転炉における高炭素鋼の溶製について

住友金属工業小倉製鉄所

永見勝茂・松永吉之助・○中谷元彦

On Melting of High Carbon Steel in LD Process.

Katsushige NAGAMI, Kichinosuke MATSUNAGA and Motohiko NAKATANI

I. 緒 言

転炉工場においては、操業当初は低炭素キャップド鋼を主体に溶製して来たが、その後次第に鋼種の拡大を図り、中炭素鋼更に高炭素鋼の溶製試験を逐次行つて来た。

この間、中炭素鋼の溶製方法としてダブルスラグ法を行い、生石灰の滓化促進、排滓時期および方法などについて検討を進めるとともに、あわせて作業の単純化、製鋼時間の短縮を図るためにシングルスラグ法による吹錬についても検討を行つた結果、満足な結果を得、高炭素鋼の溶製に対しても、シングルスラグ法で吹錬できる見通しが得られたので、その推移と実績について報告する。

II. 製 造 基 準

(1) 目標成分ならびに出鋼温度

目標成分ならびに出鋼温度は Table 1 に示すごとくである。

(2) 吹錬方法

Cの適中を容易にすること、ならびに鋼質上の問題からキャッチカーボン法を採用した。

Table 1. Private specification of chemical compositions and temperature target at end point.

I**	C*	A	B	C
C (%)		0.30~0.40	0.40~0.50	0.50~0.60
Si (%)		0.15~0.35		
Mn (%)		0.60~0.85		
P, S (%)		≤0.030		
End point temperature (°C)		1630±15		

C*: Classification, I**: Items

(3) 造 塊

注入方法 6本立て下注ぎ

鑄型および保温法 4.2t 押湯付 (アルプロパウダー保温)

III. 吹錬方法の推移ならびに実績

第1回の試作以来、脱磷率と能率の向上のために種々吹錬方法の検討を行なつてきたが、その推移はTable 2に示す様に、大別して3つの時期に分ける事ができる。

(1) 第1期

第1回試作における方法で、文献あるいは従来の経験より脱磷上、中間排滓が必要であると判断されたので、ダブルスラグ法を採用した。排滓時期は脱磷平衡を考慮し2, 3の報告から、Si 吹き終了後の鋼浴温度の低い間にできるだけ高塩基度のスラグを造つて脱磷を図るために吹錬開始より8min後とした。

(2) 第2期

第1期では排滓時のスラグが硬く、排滓が困難で、かなりの労力と時間を必要としたので、排滓時期を遅くして「生石灰の滓化を進める」とともに、排滓時の温度を高くすることによつてスラグの流動性を増し、かつフォーミング (foaming) させて自然排滓を可能にすることを目的として、排滓時期を吹錬開始より13min後とした。同時に脱磷率向上のために生石灰、スケール、螢石を増量し、滓化の促進を図つた。その結果、排滓時酸素吹止め直後には炉内のボイリングによつて炉口からスラグが噴出するほどで、自然排滓によりかなりの排滓を行うことができた。

(3) 第3期

第1期、第2期では上述のごとく脱磷を目的としてダブルスラグ法により溶製を行なつたが、排滓による製鋼時間の延長と出鋼歩留の低下が見られたほか、溶媒剤を増加しても各ステージの吹錬時間が短いので生石灰の滓化は必ずしも充分ではなかつた。従つてこれらの問題を解決するために、シングルスラグ法による吹錬についても併行して検討を進めた結果、

(i) 生石灰の使用量はダブルスラグ法の合計使用量よりもむしろ減量し、螢石を増加して生石灰の完全滓化を図る。

(ii) 滓化促進のために、生石灰、螢石を分割して投入する。

(iii) 装入塩基度が4.5~5.0となるように、溶銑成分、混銑率に応じて珪酸源を投入する。

という考え方のもとに溶製を行うこととし、酸素圧力

Table 2. Transition of refining method.

Period	Method	Deslagging		Reference
		Time after blowing in	Method	
1	Double slag	8 min	Forced	Deslagging after the end of silicon blowing
2	Double slag	13 min	Natural	To promote slagging of lime, scale and spar was increased
3	Single slag	—	—	To reduce the ch-tap time, one slag method was adopted. Spar was more increased, and lime and spar were added in parts.

Table 3-1. Operating data at each period.

Period	Pig ratio (%)	Chemical composition of hot metal (%)					Flux for 1st stage (kg/t)			
		C	Si	Mn	P	S	Silice	Scale	Spar	SiO ₂
1	90.6	4.27	0.60	0.89	0.181	0.037	48	11	4	—
2	96.5	4.29	0.62	0.64	0.179	0.041	53	19	8	—
3	91.7	4.25	0.49	0.81	0.199	0.038	80	23	20	6

period	Flux for 2nd stage (kg/t)				Chemical composition at the end of 1st stage (%)						
	Lime	Scale	Spar	Silica	Metal			Slag			
					C	P	S	CaO	SiO ₂	FeO	P ₂ O ₅
1	29	6	4	6	2.77	0.118	0.025	46.71	26.30	5.97	2.56
2	42	13	8	6	1.78	0.077	0.015	61.69	17.90	4.17	2.22
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Table 3-2. Operating data at each period.

Period	Chemical composition (%) and temperature (°C) at end point									Ladle analysis	
	Metal					Slag					
	C	Mn	P	S	Temp.	CaO	SiO ₂	FeO	P ₂ O ₅	C	Mn
1	0.29~ 0.30	0.31	0.021	0.016	1639	58.70	15.12	12.08	2.71	0.32~ 0.34	0.69
2	0.3~ 0.49	0.25	0.014	0.014	1621	60.71	11.88	11.52	2.46	0.37~ 0.58	0.73
3	0.24~ 0.51	0.25	0.015	0.014	1639	61.36	9.80	12.32	2.41	0.35~ 0.59	0.72

Period	Ladle analysis		Charge to tap time (min)					Metal yield (%)	Rate of dephosphorization (%)	
	P	S	Charging	Blowing	Deslagg-ing	Sampling & tapping	Total		To end point	To ladle
1	0.029	0.015	4	20.2	10.0	12.3	46.5	90.2	88.1	83.9
2	0.022	0.014	4	20.2	3.5	11.3	39.0	90.0	92.7	88.5
3	0.023	0.015	4	19.7	0	11.2	34.9	90.2	93.3	89.3

は吹錬初期の5min間は普通材と同様に6.7kg/cm²としたが、スロッピングの減少と生石灰の滓化促進のために、以後は6.0kg/cm²に下げて吹錬を行なった。ラン

ルスラグ法として生石灰、スケール使用量を減じ得たこと、および排滓のための中断による熱の低下がなくなつたため、混銑率は91.7%まで低下させることができた。

ス高さは普通材の基準通り炉令に応じて1100~1500mmとし、吹錬中は一定とした。

各期別の溶解実績はTable 3に示すとおりである。

IV. 実績に対する検討

(1) 混銑率

生石灰使用の増加量およびその滓化促進のために、媒溶剤特にスケール使用量が多かつたため、混銑率は90%を越え、第2期では96.5%に達したが、熱バランス上Fe-Si等の熱源を加える必要はなかつた。第3期ではシング

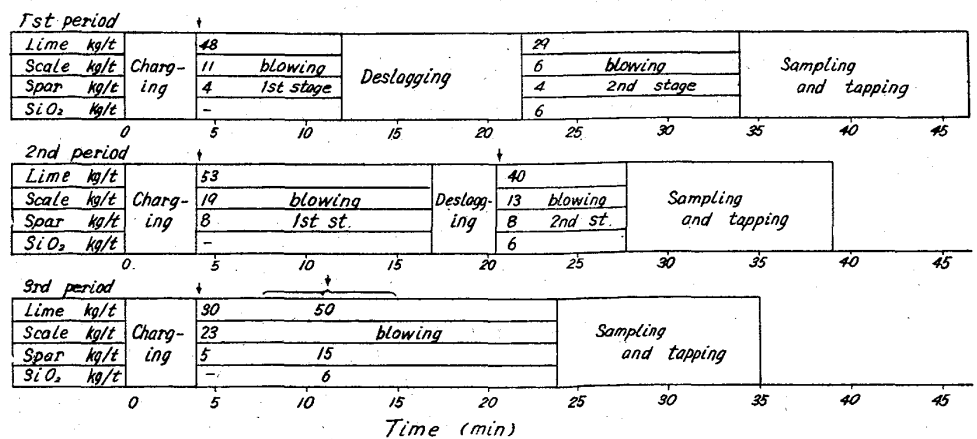


Fig. 1. Operating diagram at each period.

(2) チャージタップ (ch-tap) 時間

Table 3 および Fig. 1 に示すように、装入、吹錬時間は各期ともほとんど変わらず、主として ch-tap に影響しているのは排滓所要時間である。すなわち強制排滓を行った第1期では排滓に約 10min を要しており、ch-tap も 46~47min と最も長い、自然排滓を行なった第2期では排滓時間の短縮により ch-tap は 6~7 min 短くなっており、さらにシングルスラグ法を行なった第3期では ch-tap は 35min まで短縮されている。しかし普通材の 31~32min に比べるとなお3~4min 長くなっているが、これは 6.0kg/cm² 吹錬が長いために吹錬時間が約 1min 長いことおよび炉内に合金鉄を投入する時間を要することなどによるものである。

(3) 出鋼歩留

出鋼歩留は 90% 前後で余り変化していない。第3期ではシングルスラグ法としたため排滓による損失がなくなかつ混銑率も低くて済むのでスクラップに自家発生重量屑のみを使用している高炭素鋼では歩留の向上が期待されたが、終点スラグ量の増加による鉄損失の増加と、滓化促進のためにスケール、螢石を大量に使用したことによるスロッピング損失の増加とによつて、出鋼歩留が予想よりも低くなつたものと考えられる。

(4) 脱磷率

ダブルスラグ法による第1期の試作以来、その吹錬基準を数次にわたつて改善した結果、脱磷率は Table 3 に示すように第1期より第2期、さらに第3期へと進むに従つて良好となり、成品 P はいずれも 0.030% 以下に収つている。キルド鋼、特に高炭素鋼では出鋼時の復磷が大きいが、復磷量は溶製条件によりかなり支配されるので、ここでは成品 P を対象に脱磷率を計算した。

特に第3期ではシングルスラグ法とし、生石灰使用量を減じているにもかかわらず、ダブルスラグ法を行なった前2期より脱磷率がよくなつているが、これは主として螢石を増量使用し、かつ分割連続投入を行なった結果

(i) 生石灰の滓化が促進されたこと。

(ii) スラグの熔融点を下げ流動性をよくし得たこと。

(iii) (FeO) の活量が増加し、安定した脱磷を行うことが出来たこと。などの効果によるものと考えられる。

第3期における終点 C と終点 P、ならびに成品 P との関係は Fig. 2 に示す通りである。

(5) 高炭素鋼溶製時の脱磷と諸要因との関係

脱磷率を支配するものとしては、終点スラグ中の (FeO) および塩基度、終点温度、溶銑成分など種々の要因が考えられるが、スラグ量、成分などについては余り大きな変化は見られないので、シングルスラグ法による第3期のデータについて、終点 [C]%, 終点温度ならびに成品 P に対する脱磷率について3元重回帰分析を行なった結果

$$Z = 149.185 - 0.1558x^{**} - 0.0336y^{**}$$

Z: 成品 P に対する脱磷率(%)

y: 終点温度 (°C)

x: 終点 [C] % (×10²) が得られた。

この回帰式より成品 P を規格内に合格させるために必要な諸条件を検討すると次の通りである。

例えば成品 C 0.55%, P 0.030% 以下、終点温度 1615~1645°C、混銑率 96% の場合を考えると、成品 C を 0.55% にするために終点目標 [C] を 0.50%、出鋼温度を脱磷上不利な上限温度の 1645°C とすれば成品 P を 0.030% 以下にするために必要な脱磷率は約 86% となり、これより許容される溶銑中の [P] % は約 0.200% となる。従つて溶銑中 [P] % が 0.200% 程度以下であれば、現在の吹錬基準によつてシングルスラグ法で成品 C 0.55% 程度迄の高炭素鋼を、成品 P 0.030% 以下に抑えて溶製することが可能である。

V. 材質試験

他の製鋼炉、すなわち平炉、電気炉で溶製されたものと比較して確性試験を行なった結果次に示す通りである。

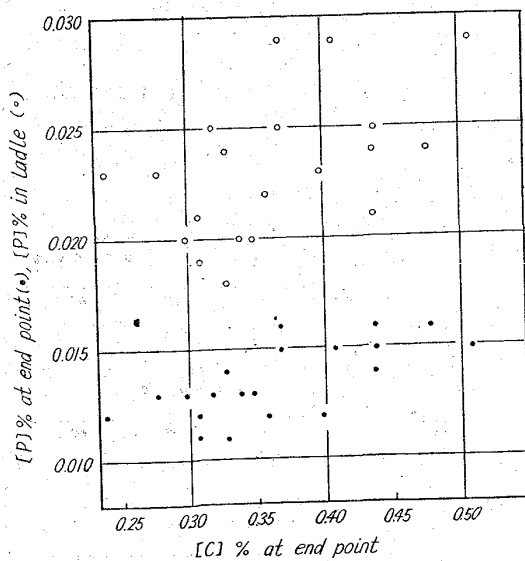


Fig. 2. Relation between [P] % at end point and in ladle, and [C] % at end point by single slag method.

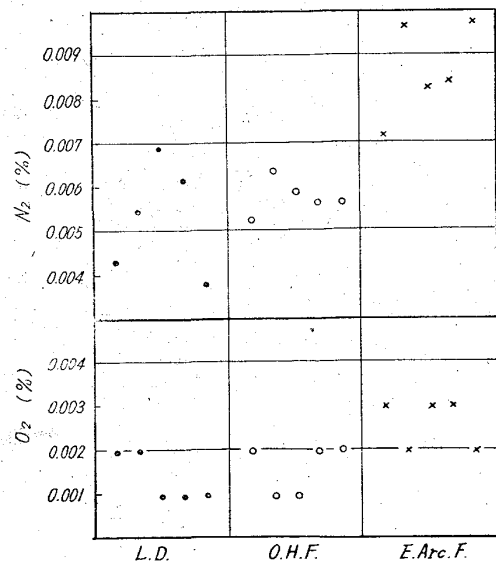


Fig. 3. Comparison of gas contents in L.D., O.H.F., and Elec. Arc F. steel.

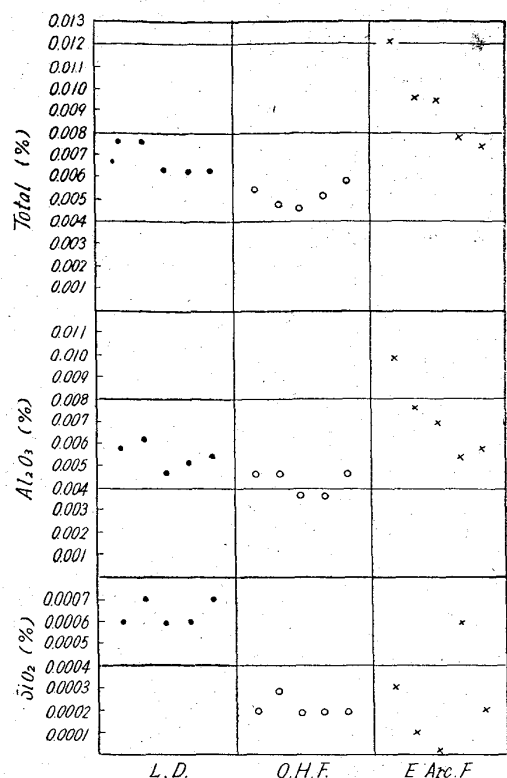


Fig. 4. Comparison of non metal inclusion in L.D., O.H.F. and Elec. Arc F. Steel.

(1) サルファプリントおよびマクロ組織
 転炉, 平炉, 電気炉材とも大差なく, いずれも問題はなかつた。

(2) 化学成分
 C, Si, Mn, S, Cu などにはあまり差は見られなかつたが P では平炉材がいずれも 0.020% 以下で, 他に比

べてやや低かつた。

(3) ガス成分

N₂, O₂ の分析結果は Fig. 3 に示す如くで, N₂ は転炉材がやや低く, 電気炉材が最も高かつた。また O₂ では溶製炉によりほとんど差はないが, 転炉材がいくらか低目であつた。

(4) インクルージョン分析

分析結果は Fig. 4 に示すように SiO₂ は転炉材がやや高目であつたが, Al₂O₃ では電気炉材より低く, total では平炉材, 転炉材, 電気炉材の順に低かつた。

(5) 顕微鏡清浄度

JIS 法 (PC 法) にもとづく検査の結果, A 型, B 型介在物では大差はなかつたが, C 型介在物では転炉材が最も少く, 合計 (A+B+C) では転炉材が最も良好で

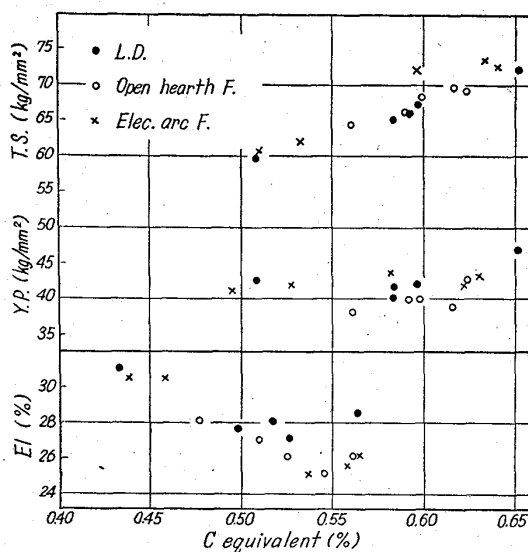


Fig. 5. Results of tension test.

Table 4. Mechanical properties of steel by each process.

Properties Process	Tensile strength		Yield point		Elongation		Charpy Impact value (kg-m/cm ²)	Rockwell hardness (HRB)
	Ceq. (%) [*]	(kg/mm ²)	Ceq. (%) ^{**}	(kg/mm ²)	Ceq. (%) ^{***}	(%)		
L. D.	0.597	67.3	0.596	42.0	0.518	28.0	7.3	92.4
	0.584	65.2	0.583	40.1	0.498	27.5	6.7	91.3
	0.593	66.2	0.594	41.8	0.517	27.0	8.2	90.1
	0.509	59.9	0.508	42.6	0.433	31.0	14.2	87.9
	0.653	72.2	0.651	47.0	0.564	28.5	6.4	96.0
O.H.F.	0.591	66.1	0.592	39.7	0.510	27.0	9.8	90.3
	0.599	68.2	0.599	39.8	0.526	26.0	7.3	91.6
	0.561	64.5	0.561	37.9	0.478	28.0	11.0	91.9
	0.617	69.6	0.616	38.3	0.545	25.0	6.9	91.1
	0.624	69.1	0.624	42.5	0.551	26.0	6.1	93.7
Elec. Arc F.	0.634	73.5	0.622	41.8	0.565	26.0	5.6	100.3
	0.597	72.2	0.582	43.6	0.537	25.0	8.8	95.6
	0.510	60.9	0.495	41.0	0.438	30.5	12.2	90.2
	0.533	61.9	0.527	41.6	0.458	30.5	12.2	94.3
	0.641	72.6	0.630	43.1	0.559	25.5	6.8	95.7

* Ceq(T.S.) = C + 0.1525 Si + 0.1880 Mn + 0.6633 P - 0.3583 S + 0.1334 Cu + 0.1169 Cr

** Ceq(Y.P.) = C + 0.1209 Si + 0.1881 Mn + 0.6756 P + 0.1689 Cu

*** Ceq(EI) = C + 0.0784 Si + 0.1176 Mn + 0.0980 Cu + 0.2353 Cr

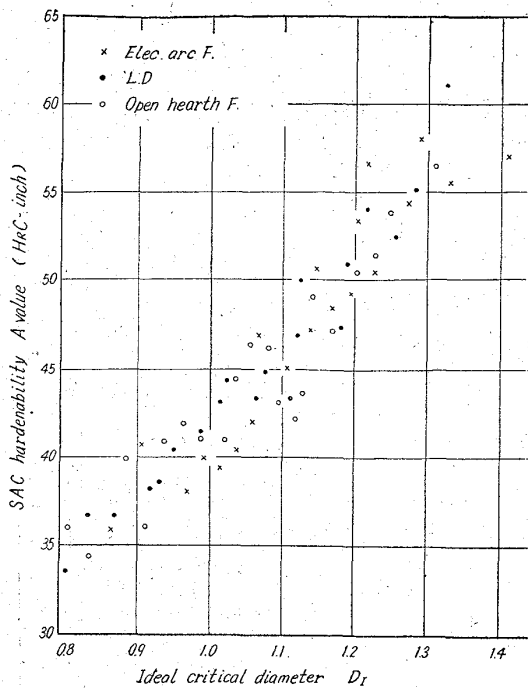


Fig. 6. Comparison of SAC hardenability of L.D., O.H.F. and Elec. Arc F. Steel.

あつた。

(6) 地 疵

学振第1法にもとづく3段階り地疵試験の結果では、平炉材にやや多いものが見られたが、転炉材は電気炉材と同等、あるいはやや良好であつた。

(7) 機械的性質

丸鋼鍛造材(焼準状態)の機械的性質は Table 4 および Fig. 5 に示すごとくで、RINEBOLT によるカーボン当量に対する機械的性質ではほとんど差は見られなかつたがカーボン当量の高い所で電気炉材の引張強さがやや高く、転炉材の伸びがやや高い傾向を示した。シャルピー衝撃値およびロックウエル硬度については、明りよ様な差は認められなかつた。

(8) 焼入性

焼入性は化学成分およびオーステナイト結晶粒度によつて左右されるので、SAE法による鋼片試料のSAC焼入性測定値のうちA値と、化学成分およびオーステナイト結晶粒度とから算出した理想臨界直径 D_1 との関係を調査した結果は Fig. 6 に示す通りである。Fig. 6 では転炉材、平炉材、電気炉材には全く差は見られず、したがつて転炉鋼の焼入性が低く現われるのは転炉鋼の鋼質自体の問題ではなく、化学成分、特にCr, Ni, Cuなどの不純金属元素が少いたためと思われる。

IV. 結 言

高炭素鋼の試作開始以来、数次にわたつて吹錬方法の検討を行なつた結果、溶銑中の[P]%が0.200%以下であれば、C0.55%程度の鋼種を、シングルスラグ法により成品Pを0.030%以下に抑えて溶製することができると見通しが得られた。また鋼質的にも平炉、電気炉鋼に比して何ら遜色のないことがわかつた。

純酸素転炉による高炭素鋼の溶製

神戸製鋼所神戸工場

杉沢英男・佐伯 修・○光島昭三
同 中央研究所

成田貴一・富田昭津

On Melting of High Carbon Steel by Oxygen Process.

Hideo SUGIZAWA, Osamu SAHEKI,
Shozo MITSUSIMA, Liich NARITA
and Akitu TOMITA

I. 緒 言

昭和36年、当社灘浜工場に公称60t純酸素転炉が設置されて以来、順調な操業を続けているがその間溶製鋼種の開発に勉めた結果、現在では数十種におよぶ鋼種の溶製をおこなつている。その内容は、操業当初においては低炭素鋼を主体とし、順次操業の安定とともにさらに高炭素域の検討を進め、溶製鋼種も中炭素鋼、高炭素鋼におよび現在では平炉、電炉にて溶製された高炭素鋼と比較してなんら遜色のない鋼を転炉にて安定した操業のもとに溶製を行なつている。

本報においては、転炉による高炭素鋼の溶製についてその操業経過と2~3の検討結果について報告する。

II. 高炭素鋼の溶製方法

転炉による高炭素鋼の溶製方法としては主原料である溶銑の[P]含有量、成品として要求されるP含有量によつて①ダブルスラグ法、②シングルスラグ法が。また吹止め目標炭素の捕捉方法によつては、①キャッチカーボン法、②加炭法

の4方法の組合せが一般に採用されている。

当社は操業の経済性ならびに作業性を考慮して、最終的にはシングルスラガー・キャッチカーボン法の採用に目標をおきまずダブルスラグキャッチカーボン法の検討から開始した。

III. ダブルスラグ・キャッチカーボン法による溶製

ダブルスラグ法は先にも記したごとく、原料溶銑の[P]含有量が高い場合には有効な方法であるが、吹錬途中の排滓にともなう製鋼時間の延長、あるいはそれに附随する作業の繁雑さ、溶鋼歩留の低下、など問題になる点が少なくない。

特に、吹錬終点期における脱磷の達成度および鋼浴温度の確保に関する排滓の時期ならびに排滓の方法について検討する必要がある。

そこで試験溶製にあつては、主副原料、吹錬条件を Table 1 に示すごとくきめ排滓時期の検討を行なつた。

1) 1次吹錬の検討

試験溶製にあつては次の点に重点をおいた。すなわち①早期造滓による脱磷の促進および多量排滓方法の検討 ②鋼浴温度の確保 である。

最終々点時の鋼中の[P]%は一次吹錬期の脱磷達成度にかなり支配されると思われるのでこの期間の脱磷を出来るだけ促進させ、しかも出鋼温度を確保するためには一次吹錬の終点時期の決定は重要である。