

Table 6. Mechanical properties of samples.

Heat treatment	Items of test	Charge No.	T2075	T2029	T1208	T2140	T2170	
			S55C equiv.	S50C equiv.	S45C equiv.	S40C equiv.	S35C equiv.	
Normalized	Tension test	Yield point kg/cm ²	42.6	44.0	45.5	42.3	42.7	
		Tensile strength kg/mm ²	76.8	76.2	70.2	64.8	61.6	
Elongation %		26.0	24.5	30.0	32.0	34.0		
Reduction %		44.0	42.8	50.5	53.5	54.6		
	Hardness test	Hardness(H _B)	219	216	194	186	175	
As roll	Bending test	Test condition r=3d	Good	Good	Good	Good	Good	
		r=2d	//	//	//	//	//	
		r=1d	//	//	//	//	//	
		r=0	//	//	//	//	//	
Quenched and tempered	Tension test	Yield point kg/mm ²	69.2	69.6	67.2	60.5	52.0	
		Tensile strength kg/mm ²	91.8	86.6	84.7	79.8	74.0	
		Elongation %	21.0	20.8	25.0	22.8	26.3	
		Reduction %	53.3	51.7	58.1	56.5	63.2	
		Hardness test	Hardness(H _B)	264	260	249	241	220
		Charpy test (charpy value) (kg·m/cm ²)	Test temperature -20°C	6.93	6.20	10.39	11.49	15.44
0°C	8.42		7.05	10.27	20.71	18.60		
Room temp.	7.04		11.83	15.58	22.13	22.25		

(Notes) Tension test : JIS No. 4 Probe. Numbers are average value of top and bottom
 Charpy test : JIS No. 3 Probe. Numbers are average value of three test
 Normalizing : 850°C×1hr→air cool
 Quenching and normalizing : 850°C×1hr→water cool→600°C×2hr→rapid cool

ごとく、1640°C～1660°Cという高温出鋼を必要とする高炭素鋼種の場合にも、ランス距離の調節により、鋼浴に対する酸素ジェットの圧力と衝突面積を変えて、脱磷能力の大きなスラグを作れば、中間排滓なしの一回吹錬法で、能率および適中率の低下を防ぎながら、鋼中のPを十分、規格値以下に収めることを示した。

また、このようにして製造した高炭素鋼は、転炉鋼の本質上、清浄度も良く、機械的性質も優秀で、機械構造用鋼上として十分使用に耐えることが明らかとなった。

文 献

- 1) K. ROSNER: Stahl u. Eisen, 76 (1956), p. 1337
- 2) O. CUSCOLECA: J. Metals, 10 (1958), p. 673
- 3) H. TRENKLER: J. Metals, 12 (1960), p. 538
- 4) 前原, 他: 鉄と鋼, 47 (1961), p. 345
- 5) 板岡, 他: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 1366~1368

純酸素転炉による高炭素鋼の吹錬

(主として脱磷について)

日本鋼管(株)川崎製鉄所製鋼部

土居 襄 ○板岡 隆 斎藤 剛

On Melting of High Carbon Steel by L.D. Process.

(Some problems on dephosphorization)

Takeshi ITOOKA

I. 緒 言

周知の通り日本の粗鋼生産量に対するLD鋼の生産化

率は年々増大しており、今後ますます増加して行くことが予想されている。したがってLD転炉による生産鋼種も従来の低炭素鋼にとどまらず、当然高炭素鋼の分野に進出して行くものと考えられる。

斯様な点からみて、今後わが国のLD転炉工場が品質の優秀な高炭素鋼を経済的に製造して行く技術を得て行くことは極めて重要なことであらう。日本鋼管川崎製鉄所転炉工場における高炭素鋼の溶製に関しては、昭和37年秋、広島鉄鋼協会において、機械構造用高炭素鋼(JIS-S45C)²⁾および油井用鋼管(API-J55)³⁾についてそれぞれその溶製方法、圧延成績および鋼の性質などを報告した通りであり、鋼質の優秀性については充分立証されているところである。また溶製方法特に吹錬の方法についても現在は当時と本質的に変った点はないが、その後種々の現場操業上の実験を行い多少の改善を重ねて来たので、ここでは脱磷を中心として現在当工場、高炭素鋼の溶製にさいし採用している作業方法ならびにその作業方法を決定するまでの経緯について報告する。

II. 鋼中[P]含有量におよぼす主なる製鋼要因

LD転炉において高炭素鋼を溶製する場合に、まず問題となる点はいかにして脱磷を促進し、良好な低磷鋼を製造するかである。当然のことながら高炭素鋼において低炭素鋼と同様な吹錬方法を行えば充分脱磷が行われず、鋼中の[P]が極めて高い値を示す結果となる。しかしこの場合の鋼中の[P]の絶対値はその吹錬方法のみならず、各工場における前提条件、すなわち使用する溶銜[P]含有量あるいは出鋼温度によつて大きく左右されることは他製鋼法におけると同様である⁴⁾⁵⁾。

一般的にLD転炉における鋼中[P]含有量におよぼす主要な製鋼要因を示すと Fig. 1 のごとくであるが、まずこれらの要因のうち、前提条件としての溶銑[P]含有量および終点溶鋼温度の影響についてふれて見る。

Fig. 2 および Fig. 3 は昭和 35~36 年において低炭素リムド鋼について得られたそれらの関係を示すものである。溶銑の[P]が低下すれば当然レードル[P]含有量も低下し、この関係を平衡式より求めると2次曲線的なものになるが、現場における操業データよりプロットするとかなりのバラツキはあるが直線的な傾向が得られている。また終点温度と終点[P]との間にも明瞭な正

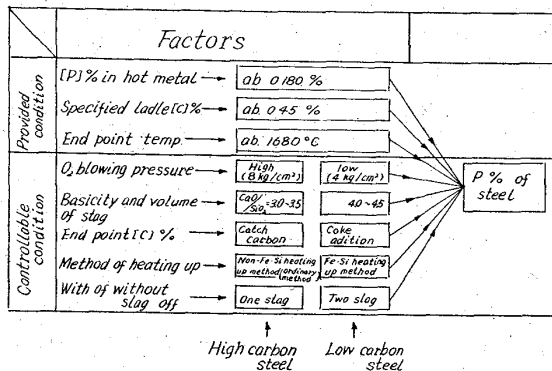


Fig. 1. Various factors affecting phosphorus content of steel in steelmaking process.

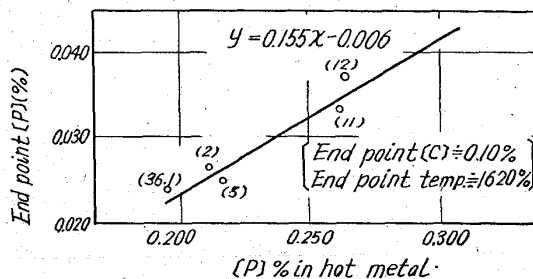


Fig. 2. Relation between [P] at end point and [P] in hot metal.

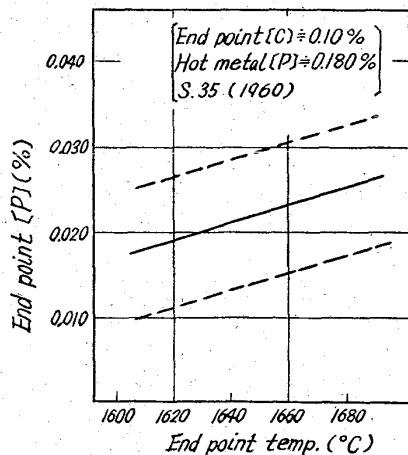


Fig. 3. Relation between [P] and temperature at end point

相関があり、終点温度上昇とともに終点[P]が増加することは平衡論的に考えても当然である。

しかしながらこれらの前提条件は各工場において大体規定されるものであり、現在当工場の場合には溶銑[P] = 0.180%, 終点時溶鋼温度は約 1680°C および主要な高炭素鋼のレードル[C] = 約 0.45% である。ここで特に終点温度の高い理由は高温下注造塊法を採用していること、および終点時の溶鋼確認のための分析待ち時間中の温度降下を考慮しているためである。このような高温下では脱磷は非常に不利になるのみならず、吹錬終了時の鋼浴中の[P]より取鍋分析値の[P]が上昇する現象すなわち、復磷⁷⁾もいちじるしいので脱磷に対する考え方をシビヤーにしなければ十分な脱磷は期待できないことになる。結局この前提条件が規定されている場合に鋼中の[P]をコントロールするためには、Fig. 3 に示すごとく吹錬方法を種々変えて行くことが必要となつて来る。転炉の炉内反応は吹錬酸素圧力の高低、滓の性状あるいは終点[C]をどこまでさげるかにより変化し、また吹錬過程において溶鋼の温度をどのように上昇させていくか、またはシングルスラグ法によるかあるいはダブルスラグ法を採用するかによつても当然変つてくる。したがって製造鋼種に応じて、これらの吹錬方法を適当に組合せる必要がある。例えば普通の低炭素リムド鋼の吹錬においては吹錬酸素圧力は高圧にし、鋼滓塩基度は 3.0~3.5 程度の値で充分であり、シングルスラグ法のキャッチカーボン法による昇熱法(後述)を採用することなく出鋼できるが、一方高炭素鋼の吹錬においては低圧吹錬、高塩基度操業を基準とし、あわせて場合によつては加炭法、さらに昇熱法(後述)を加えるとか、あるいはダブルスラグ法を採用するとかの方法を組合せて操業を行う必要が生じて来る。

1) 吹錬酸素圧力

ここでいう吹錬酸素圧力とはランスに入る前の酸素圧力のことであり、これが高いか低いかによつて高圧吹錬または低圧吹錬と称しているが、実際に影響があるのは鋼浴表面に吹きつけられる酸素ジェットの影響すなわち圧力である。当工場で測定した結果にもとづいて、酸素ジェット中心部の湯面における酸素圧力(kg/cm²)におよぼす吹錬酸素圧力(kg/cm²)と湯面からのランス高さ(湯面とランス・ノズル先端の間の距離mm)との両者の影響を示したものが Fig. 4 である。当然これらの関係はランス・ノズル径の大小によつて変つてくるがこの場合は平常作業で使用している40mm径のランス・ノズルを使用した場合のデータである。この図から判ることは当然酸素元圧を下げれば湯面の酸素圧力は低下するが、一方酸素圧力は一定であつてもランス高さを上げることによつても湯面における酸素圧力は低下して、ソフトブローの状態が得られることである。例えば、ランス高さを1.200 mで酸素元圧を4 kg/cm²まで下げた場合と、酸素圧力は8 kg/cm²でランス高さを2 mまで上げた場合での湯面における酸素圧力は同じである。従つて、ソフトブローの効果を得るためには、ランス高さを上げてよいし、また酸素圧力を低下させてもよいことになるが、一般に酸素圧力を低下した場合には、単位時間当たり酸素通入量(m³/min)が低下することは当

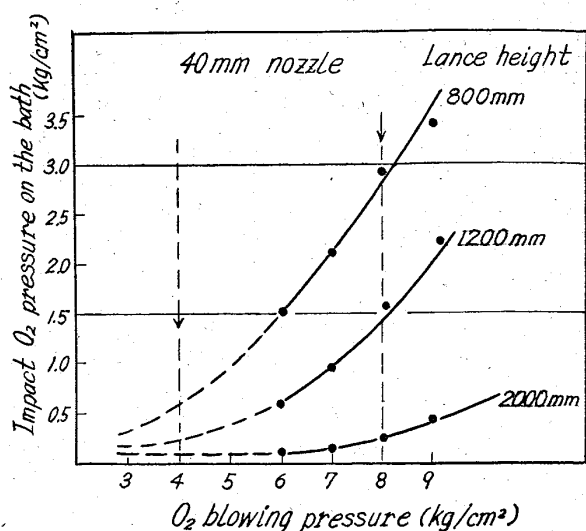


Fig. 4. Relation between impact O₂ pressure on the bath and O₂ blowing pressure.

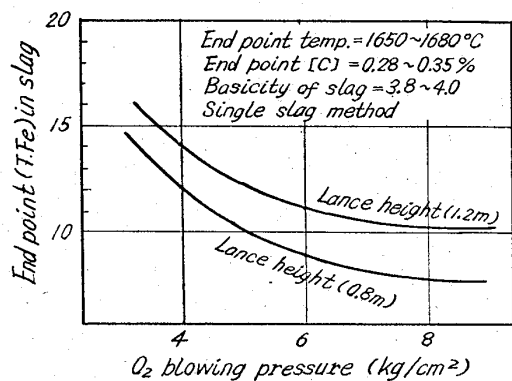


Fig. 5. The influence of O₂ blowing pressure and lance height on (T.Fe) in slag at end point.

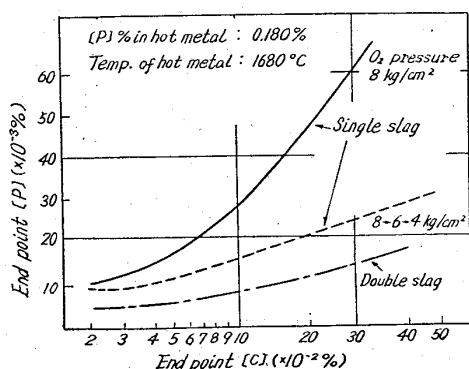


Fig. 6. The influence of blowing method on end point [P].

然考慮しておく必要がある。

次に吹錬作業特に脱磷状況におよぼすソフトブローの効果を示したものが、Fig. 5 および Fig. 6 である。Fig. 5は吹錬酸素圧力とランスの高さの変化によって、脱磷に影響をおよぼす終点時の鋼滓中の (T.Fe) がいかに変化されるかを示したものである。すなわち吹錬酸素圧力を下げても、またランス高さを高くすることによつて

も、終点時の鋼滓中の (T.Fe) を増加させ得ることが判る。また Fig. 6 は終点 [C] と終点 [P] との関係が吹錬酸素圧力の高低によりいかに変化するかを示したものである。すなわち酸素圧力 8 kg/cm² の場合と、酸素圧力を 8→6→4 kg/cm² のごとく吹錬末期にソフトブローを行なつた場合とでは、同一終点 [C] に対する終点 [P] の値はかなり相違していることを示す。さらにこの終点 [P] の差は終点 [C] が高いほど、大きくなるのでソフトブローの脱磷に対する効果は高炭素鋼になるほど顕著であるといえる。かようなソフトブローの効果、すなわち低圧吹錬操業を實際操業上の標準としていかに適用しているかを示したものが Fig. 7 である。すなわち普通の低炭素リムド鋼においては吹錬開始から終了まで吹錬酸素圧力を 8 kg/cm² の高圧で、ランス高さを 1.2 m 一定として吹錬するが、一方高炭素鋼の吹錬においてはシングルスラグ法によるキャッチカーボン法の場合には、図中の中段に示すごとく吹錬開始より終了までの前半において普通の高圧吹錬を行い、後半において吹錬酸素圧力を低下せしめることによりソフトブローを行い脱磷を促進している。この場合吹錬後半は吹錬圧力を低下するために酸素通入量 (m³/min) が減少することにより吹錬時間が若干延長している。ダブルスラグ法におけるソフトブロー的効果の組入れ方は、図の左側に示す一次吹錬においては吹錬圧力を低下せしめることなく、ランス高さを 3 m にあげることにより達成している。この場合一次吹錬において吹錬酸素を低下させずにランス高さを上げてソフトブロー的効果を得ている理由は、一次吹錬においては吹錬時間を短縮するために酸素通入量を多くして脱炭速度を速くすることにより、一次吹錬の終点 [C] が多少バラツキても操業上支障を来たさないためである。右側の二次吹錬においては最初鋼滓の生成を促進するために若干吹錬酸素圧力を低下せしめて吹錬を行い、後半においては再び吹錬酸素

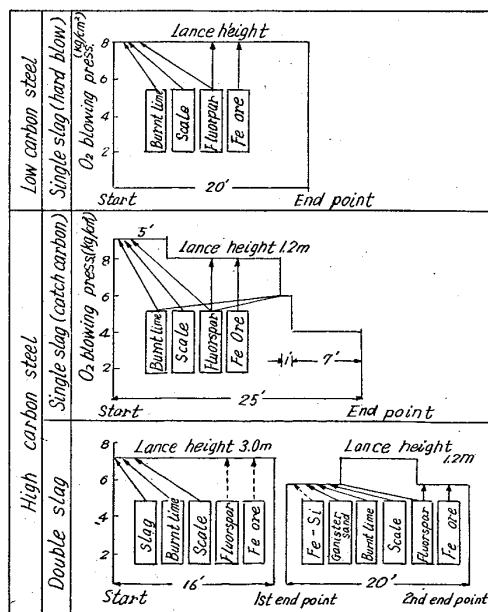


Fig. 7. O₂ blowing pressure and lance height in various blowing methods.

Table 1. Flux consumption and properties of slag.

Grade of steel	Blowing method	Flux (kg/t ingot)						Slag	
		Burnt lime	Scale	Fluorspar	Fe-Si	Ganister sand	Slag	CaO/SiO ₂	Weight (ton)
Low carbon steel	Single slag	50~55	20	3~4	—	—	—	3.5~3.7	5.3~5.5
	Double slag	40 50	8 10	0~2 5	— 0~2	— 8	40 —	4.0~4.5 4.0~4.5	6.0~6.5 5.0~5.5
High carbon steel	Single slag (catch carbon)	75~80	24	8~9	—	—	—	4.0~4.5	7.0~7.5

圧力を低下して、脱炭速度を遅くすることによりキャッチカーボンを容易にすると同時にソフトブロー的效果を得る方法をとっている。

2) 鋼滓および副原料

鋼滓および副原料については、他の製鋼法における一般的な考え方と大体同様であるが、Fig. 7 に示すごとく普通の低炭素リムド鋼の場合は、焼石灰およびスケールは吹錬初期に入れるだけであり、螢石のみ分割投入している。高炭素鋼のシングルスラグ法においては焼石灰もまた分割投入を行い多量の焼石灰の有効利用をはかっている。また、ダブルスラグ法においては前チャージの鋼滓を約 40 kg/t 程度炉内に残して当チャージに使用し Fe 分を回収するとともに造滓性をよくすることを行なっているのが特徴である。

吹錬中に装入する副原料の原単位を Table 1 に示すが、シングルスラグ法においては低炭素リムド鋼の場合は焼石灰を 50~55 kg/t 使用するが、高炭素鋼の場合には 75~80 kg/t を使用し脱磷を強化している。ダブルスラグ法においては 40 kg/t (一次) + 50 kg/t (二次) で合計 90 kg/t という多量の焼石灰を使用している。その他高炭素鋼においては螢石使用量も焼石灰量の増加に比例して多くなり、低炭素鋼における使用量の 2 倍におよんでいる。一方鋼滓塩基度も焼石灰使用量に比例して、普通リムド鋼で 3.5~3.7 kg/t、高炭素鋼で 4.0~4.5 kg/t と上昇しておりその結果、鋼滓量も高炭素鋼では低炭素鋼に比べて 30~40% 増加している。特にダブルスラグ法では一次滓と二次滓を合計すると非常に多量の滓が出るため、出鋼歩留あるいは良塊歩留の低下という経済上の問題が生じ、製鋼時間の延長とともにダブルスラグ法の欠点の 1 つとなつている。

3) キャッチカーボン法および加炭法

一般に終点 [C] の補促の方法としては、キャッチカーボン法と加炭法の両者があるが加炭法においては加炭剤からの窒素の混入および鋼浴の酸化程度の増加などの問題が考えられるが、脱磷に関する限り終点 [C] を吹き下げる加炭法の方がよいといえる。キャッチカーボン法と加炭法の両者における脱磷状況の比較を代表的な数チャージのデータより求めて、模型的に示したのが Fig. 8 であり、キャッチカーボン法を実線、加炭法を点線でそれぞれ表わしている。レードル [C] の目標値 0.45%

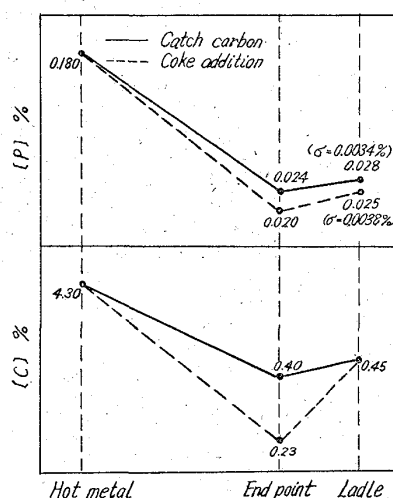


Fig. 8. Comparison between catch carbon method and coke addition method on dephosphorization. (single slag)

に対して加炭法では終点 [C] を 0.23% 程度まで下げ後、加炭剤を使用して [C] を 0.45% まで上昇させるので、終点 [C] をあまり下げないキャッチカーボン法と比較すると終点の [P] が低い。しかし、終点 [P] とレードル [P] との差、すなわち復磷度は加炭法の方が若干多くなつているが、結果的にはレードル [P] の値は失張り加炭法の方が若干低いという実績を得ている。

4) 溶鋼温度上昇法

目標終点温度まで鋼浴温度を上昇させる方法として、当工場においては 2 通りの方法を採用している。この両者を便宜的に Fe-Si 昇熱法と普通昇熱法という言葉で分類しており、この両法の比較をしたのが Fig. 9 である。図中の実線で示すごとく普通法では吹錬開始後、目標終点温度 (1680°C) まで直接昇温にするのに対し、Fe-Si 昇熱法は第一次終点として 1620°C 程度の低温を目標とし脱磷を促進させつつ昇温するため、同一 [C] でも [P] は普通法では 0.024% であるのに対し、Fe-Si 昇熱法では 0.019% と低くなつている。しかし Fe-Si 昇熱法においては一次終点后、溶鋼温度を目標温度 (1680°C) まであげる過程において多少復磷が起る

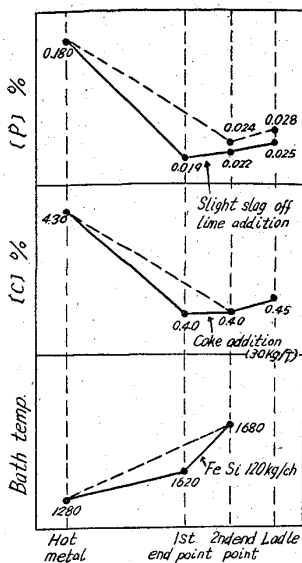


Fig. 9. Comparison between Fe-Si heating-up method and non heating-up method on dephosphorization.

が、図に見られるごとく失張り結果的に普通法よりも【P】は低下している。勿論、Fe-Si昇熱法においては、一次終点で测温およびサンプリングの際に炉を倒して若干自然排滓を行なうとともに焼石灰を添加するため厳密に言えばシングルスラグ法ではないかも知れないが、自然排滓の量も所要時間も少ないので、われわれは一応シングルスラグ法として取扱っている。Fe-Si昇熱法においてはこの排滓および焼石灰添加が【P】を低くしている一因とも考えられるが、この他に吹錬末期に急速に昇熱するので、鋼滓および鋼浴間でPが平衡に達しない内に出鋼

されることも原因しているものと考えられる。しかし、この関係については具体的かつ理論的にいかなる状況にあるかは未だ明らかにするにいたっていないが、実際操作では前述のごとき結果を得ている。

5) ダブルスラグ法およびシングルスラグ法
シングルスラグ法とダブルスラグ法とを比較すると当然ダブルスラグ法の方が鋼中【P】が低くなることはいうまでもない。それらの間の相対的關係を示したのが

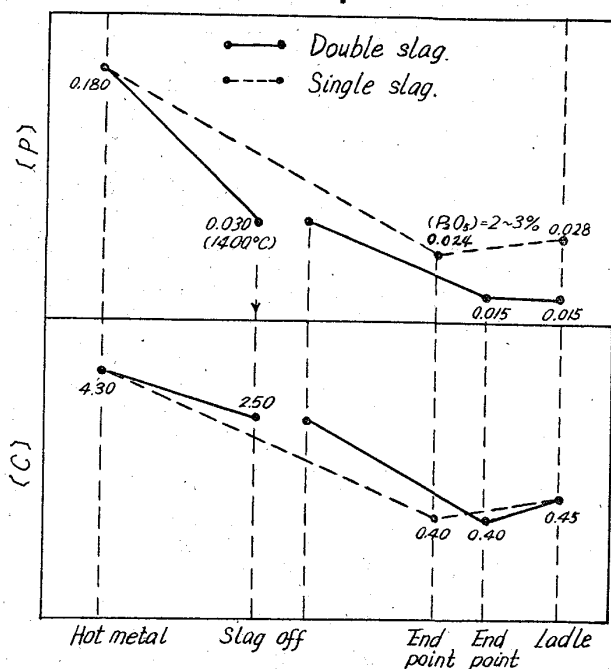


Fig. 10. Comparison between double slag method and single slag method regarding dephosphorization.

Fig. 10 であり、図中ダブルスラグ法においては実線で示すごとく、大体Cが2~3%程度、鋼浴温度が1400±30°C程度になるように一次吹錬を終了すれば鋼浴中のP₂O₅は2.3~2.7%程度まで低下する。この時の鋼滓中の(P₂O₅)は2.3~2.7%程度あるが、この鋼滓量の90%位を排滓するので、炉中に入ったP源の70%位は系外(炉外)に出してしまうことになる。したがってその後の二次吹錬により【P】はさらに低下し0.015%程度になるのは当然といえる。

III. 各種吹錬法における鋼中【P】含有量と製鋼時間

今迄述べた各種吹錬方法と製鋼時間すなわち経済性の点から比較したのが Fig. 11 であり、これは溶銑の【P】=0.180%、終点温度=1680°C およびレードル【C】=0.45%と一定条件のもとで得られたものである。この図からも明らかごとく一般に製鋼時間と鋼中【P】含有量とは逆相関関係にある。

IV. 諸条件下における実際の吹錬要領

転炉における製鋼時間は経済性の尺度として考えるべきものであるので、われわれとしてはできるだけ製鋼時間の短くなるような作業方法をとるべきであるが、やはり要求される鋼成分を得ることを優先しなくてはならない。そこで許容されるレードル【P】の範囲で、製鋼時間のもつとも短い吹錬方法を採用する必要があるが、現在の技術レベルにおける吹錬方法の組合せとしては Table 2 に示すごとき作業基準を一応設定して日常作業を行なっている。すなわち溶銑【P】は0.180%を基準におき0.180%以上および以下の場合とで、その作業方法を区別することにより高炉操業のバラツキに対処するとともに、合金鉄添加量の多少、鑄型の大小、終点温度の高低などによつてその吹錬方法を区分している。またさらに鋼質に対する要求度をも考慮してレードル【P】は0.020%以上の場合と以下の場合に区別して操作している。例えば溶銑【P】が0.180%以上になり、しかも素鋼の【P】が非常に低い0.020%以下の鋼の溶

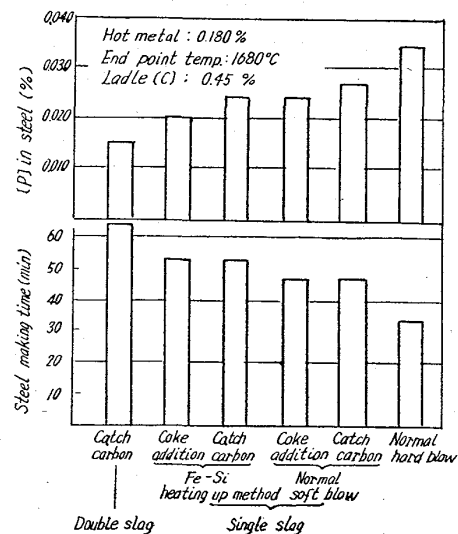


Fig. 11. Comparison of [P] in steel and steel-making time about various blowing methods of high carbon steel.

Table 2. Steelmaking methods of high carbon steel in various condition

End point temp.	Blowing method	[P] in hot metal			
		0.180 over		0.180 under	
		Ladle carbon [P] %			
		0.020 under	0.020 over	0.020 under	0.020 over
1640~1680	Slag carbon heating up	D Catch carbon (normal)	S Coke addition (normal)	S Coke addition (normal)	S Catch carbon (normal)
1680 over	Slag carbon heating up	D Catch carbon (Fe-Si)	S Coke addition (Fe-Si)	S Coke addition (Fe-Si)	S Catch carbon (Fe-Si)

製を要求される場合には、終点温度のいかんにかかわらずダブルスラグ法を採用しているし、また一方高炉操業が順調で溶銑 [P] が 0.180% 以下で、しかもレードル [P] が 0.020~0.030% 程度のものでよい鋼の溶製においては、終点温度が 1640°C ~ 1680°C ならばシングルスラグ法によるキャッチカーボン法でかつ普通昇熱法を採用しており、特に終点温度が 1680°C 以上を要求される場合は、Fe-Si 昇熱法を行なつて脱磷を促進するようにしている。現在日常における主な作業方法はシングルスラグ法によるキャッチカーボン法および普通昇熱法の組合せであり、その他は必要に応じて加炭法あるいは、Fe-Si 昇熱法を行なう程度である。

V. 結 言

以上脱磷を主体として種々の吹錬方法につき述べたがこれらの資料はいずれも現在までに行なわれてきた操業から得られたデータに基づくものである。結局LD転炉による高炭素鋼の溶製に当つては脱磷に留意するとともに、製鋼時間を短くすることにより経済性を向上せしめ、さらに鋼質を向上せしめることが今後のわれわれに課せられた使命といえよう。鋼質の一層の向上についてはソフブローというような鋼滓中の(T.Fe)が高くなるような操業方法は、多少の問題があるのではないかと考えられるので、今後はこの点の研究が望まれるところである。例えば終点鋼滓中の(T.Fe)を増加せしめず鋼浴

の攪拌を充分行なうことによつて、脱磷を促進させるような具体的な操業方法はいかにすべきであるか、あるいはLD-AC法を低磷銑使用による高炭素鋼の溶製に充分有効に活用して行くにはいかにすればよいかというような点である。もちろん、現在得られている純酸素転炉製鋼法の技術的レベルにおいて高炭素鋼の溶製に当つても、他製鋼法に比較してその経済的ならびに品質的優位性は充分認められるところであるが、今後さらに一層の技術的向上をはかるといふ意味において、大いに研究を進めて行くべきであらうと思われる。

文 献

- 1) 日本鋼管川崎製鉄所 第1回国際LD技術会議資料
- 2) 板岡, 斎藤, 田中, 室賀: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 1366
- 3) 板岡, 藤井, 田中, 矢野: 鉄と鋼, 38 (1962), p. 1368
- 4) 水井: 日本鋼管技報, No. 15, May 1959, p. 17
- 5) J. PERASON: Iron & Coal, Tr .R. Mar. 9 (1954), p. 685~695
- 6) 板岡, 斎藤, 伊藤: 日本鋼管技報, No. 23 June (1962)
- 7) 板岡, 斎藤, 室賀: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 408