

鑄鋼材熔製法に關する一考察

(昭和 24 年 4 月 本會講演大會にて講演)

木 下 禾 大*

ON THE MELTING OF THE STEEL CASTINGS BY THE BASIC ELECTRIC FURNACE

Toshihiro Kinoshita

In the steel casting foundry, properties of the steel which satisfy the casting are hitherto been neglected, but for manufacturing the good steel castings the properties of the steel are very important. And melting practice which satisfies these properties is necessary. Properties which are demanded for the steel castings are as follows :

1. Free from blow holes, pin holes.
2. Safety for the hot tear.
3. Good fluidity.
4. Mechanical property.
5. Good weldability.

These properties are satisfied by the melting practice under the conditions.

1. Elimination of H_2 , O_2 .
2. Control of the composition.
3. Control of the temperature of the molten steel.

So that, the melting of the steel castings by the basic electric furnace should be differ from that of the ingot making. And following should be demanded.

1. An object of the oxidizing period is to eliminate H_2 .
2. Moderate decarburizing speed should be necessary and other composition should not be decreased as possible.
3. Deoxidizing should be forced as possible in the deoxidizing period.
4. Consequently, non metallic inclusions are allowed unavoidably.
5. S should be decreased as small as possible to avoid the hot tear.
6. Mn should be added much more than the quantity which needed for the deoxidation to prevent the hot tear.
7. Elimination of the gases in the molten steel is the most important which decide the finishing condition of the steel.
8. Tapping temperature should be higher than $1520^\circ C$.

I. 緒 言

筆者はこれ迄鑄鋼材の基本的性質に就て少しく研究を續けて來たが¹⁾、その究極の目的は鋼鑄物製造に當つて鑄鋼材熔製法とも言ふべきものを確立して鋼鑄物の進歩を圖るにあつた。その結果は不充分乍らも鑄鋼材として具備すべき條件を明らかにすることが出來たので最後の

段階として、これらを基礎として鑄鋼材熔製法とも言ふべきものに就て筆者の見解を述べて見たい。

従來鑄鋼材の熔製に當つては特に考慮が拂はれることが少なく、一般の製鋼工場では鑄鋼材の熔製は熔解技術者の練習臺とさへも考へられ、順當な製鋼作業が行はれ

* 三菱重工業、長崎造船所

なかつた熔鋼を鋼鑄物に充當することさへもしばしば行はれて来た。又一般の製鋼作業も大量に製造される鋼塊製造法に重點が置かれたために鑄鋼材としては稍々もすると不満足な點が多かつたのである。何となれば鋼塊を熔製する場合には非金属介在物の發生を恐れる餘りに脱酸を不充分にすることが行はれ勝ちであるからである。

依つて鑄鋼材としては鑄物に適する様な獨特の熔解法が望ましいのである。

鑄鋼材として要求される諸性質中主要なものは

1. 鑄巣發生の危険が無いこと。
2. 高温龜裂に對して安全であること。
3. 充分な流動性を有すること。
4. 必要な機械的性質を満足すること。
5. 熔接補修作業が容易であること。

に要約され、これらを満足する成分範圍としては、 $C=0.2\sim0.3\%$ 、 $P<0.05\%$ 、 $S<0.01\%$ 、 $Mn=0.7\sim0.9\%$ 、 $Si>0.35\%$ 、 $H_2<0.0005\%$ 、 $N_2<0.05\%$ 、 $O_2<0.01\%$ が求められたのである。

以上の要求を熔鋼製造の見地から考察すると

1. 水素の輕減法。
2. 酸素の輕減法。
3. 熔鋼成分の調整法。
4. 熔鋼温度の調整法。

に要約することが出来る。この様に鑄鋼材熔製法としては先づ脱瓦斯を主として考へるべきであるが、本報告ではこれらの各項目に就て考察を加へて見たい。尙鑄鋼材の熔製は一般に鹽基性電氣爐で行はれて居り、筆者の経験もこれに限られて居るので、本報告は専ら鹽基性電氣爐に就て述べるものであり、使用電氣爐は 3t 及び 5t 爐であることを附記する。

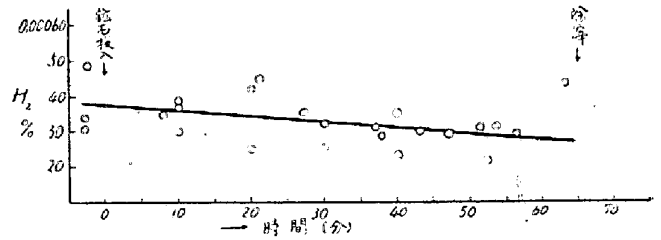
II. 熔鋼中の水素の輕減に就て

(1) 鹽基性電氣爐操業中の水素の舉動

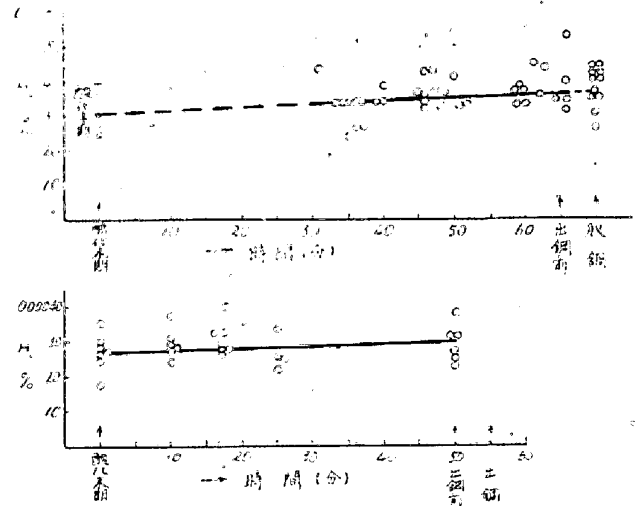
熔鋼中の水素の輕減を圖るためには先づ熔解中の水素の狀況を認識して對策を構じなければならぬ。この問題に就ては既に先年學術振興會で調査された資料²⁾で概略は明らかにされたが、その結果によると多くの場合、酸化期では減少し、還元期には増加の傾向を示すがその量は必ずしも一定しない。又酸化期の水素減少の狀況は熔鋼成分と關聯性が餘り認められない。この原因としてはこれらの資料が各工場のものを集めたものであり、操業法も一定して居らず、又水素分析法も決定して居なかつたためとも考へられる。依つて水素の問題を取扱ふに先立つて基本的の觀念を得るために鹽基性電氣爐で鑄鋼

材を熔製する場合の水素の舉動を檢討して見た。但し水素分析法は學振法によつた。尙鑄物としての見地から出鋼後の取鍋中、及び鑄型(乾燥型)中での水素の増加をも併せて調査した。

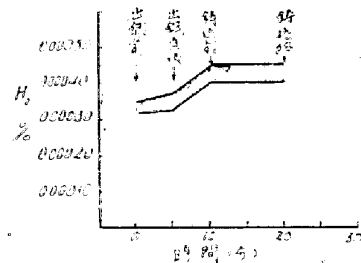
その結果を第 1, 2 圖に示したが、これから見ると大體の傾向は學振のものと同じである。即ち酸化期では減少し還元期では増加する。然しその量は何れも僅かである。



第 1 圖 (I) 酸化期水素の減少



第 1 圖 (II) 還元期熔鋼中の水素分析結果



第 2 圖 取鍋中に於ける水素分析結果

これらの結果を總括すると第 1 表の様になる。

第 1 表 鹽基性電氣爐操業中の水素量 (%)

期 間	H ₂ %
酸化末期	0.00025~0.00040
出鋼前爐中	0.00030~0.00045
取鍋中(鑄込終了時)	0.00035~0.00050
鑄型中(乾燥型押湯中)	殆ど増加せず

この中還元期での水素増加が少ないのは鋼滓として特有の $\text{CaCO}_3 \sim \text{CaF}_2$ 系のものを使用し、後述の様に熔鋼中への水素侵入の元兇とも目せられる CaO の使用を避けたためと考へられ、又取鋼中での増加の少ないのは乾燥を入念に行なふためと考へられる。(取鋼の外殻の鐵板に接する煉瓦中で約 600°C とする)

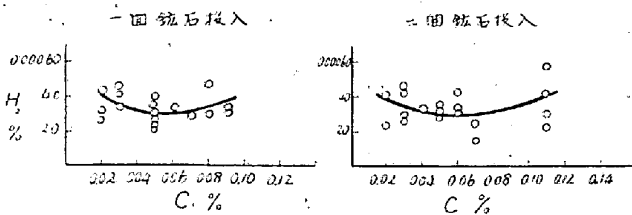
(2) 酸化期の水素減少に關する實驗結果

前述の調査結果から明らかな様に、普通酸化精錬を行ふ場合には大體豫想通りに水素は減少の方向をたどつて居る。然し熔解に當つては今一步進んでその状況を把握する必要があり、そのためには水素減少の各種條件を検討しなければならない。

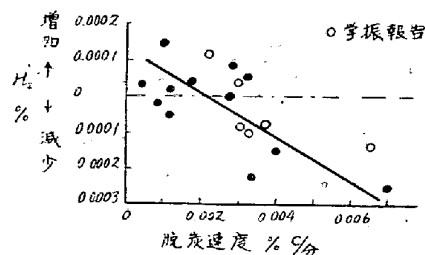
i. 水素と酸化期炭素量との關係

酸化期の目的は、特に鑄鋼材熔製の見地からは、水素の減少にあるが直接熔鋼中の量を知ることは現在の水素分析の技術では困難であるので先づ水素の多少を示す指標を求める必要がある。一般にはこれを炭素量に求め、炭素と水素との關係を調査した上、その關聯性を利用して水素の状況を知らうとするのである。

今最も簡単に、酸化末期の炭素と水素との關係を求めて見ると第3圖の様になり、大略 $\text{C} = 0.06\%$ に水素量最少の箇所がある。勿論これは普通鑄鋼材熔製の場合であり、装入材料は一般の軟鋼スクラップ、鑄鋼湯口、揚り、を主體とするものであるが、操業法、鋼種其他で變化するものであるから、更に今一步一般的东西として脱炭速度と水素との關係を調査した。即ち熔落後、鑛石を投入してから除滓迄の約 20~40 分間の脱炭速度と水素との關係を求めた結果第4圖が得られた。この結果から脱炭速度が $0.002\%/分$ 以下では却つて水素は増加す



第3圖 鑛石投入による水素とCとの關係



第4圖 脱炭速度と脱水素との關係

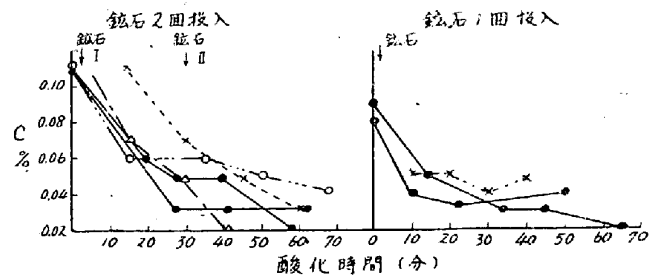
ることが知られる。これは水素の除去は機械的の熔鋼の攪拌にあるために沸騰が或る程度強烈でないと、使用する鑛石の水分

のために却つて水素が増加して、沸騰による水素の除去を相殺するためと考へられて居る。

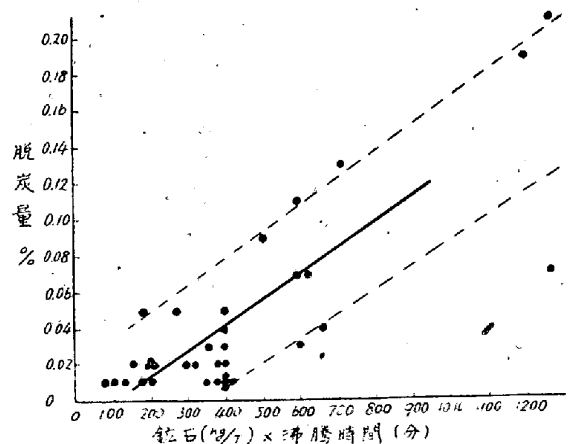
ここに得られた脱炭速度の値は學振報告²⁾とも良く一致し、又平均脱炭速度として、水素の除去に必要なであると報告されて居る室井氏³⁾(脱炭速度 $> 0.0017\%/分$)、石川、山本氏⁴⁾、更に俵氏⁵⁾(脱炭速度 $> 0.0045\%/分$)等の結果と大體一致する。

ii. 鑛石使用量

鑛石はそれを投入後、沸騰及び水素の除去に有効な時間は多くとも 30 分以下であることが第5圖から認められるので、酸化時間を 30 分とすると、この間に充分沸騰を行なはせ乍ら低下させるべき炭素の量は、脱炭速度を $0.003\%/分$ とすれば、 $0.003 (\%/分) \times 30 (分) = 0.09 = 0.1\%C$ となる。然るに第6圖に示される様に、非常に不正確ではあるが、脱炭量を $0.1\%C$ とし、鑛石使用時間を 30 分とすれば、これに要する鑛石量は $30\text{kg}/t$ となる。この様にして大體の沸騰の條件から鑛石使用量をも推定出来る。然し一般にも認められて居る様に、電氣爐の構造、操業方式、更に使用材料等に關聯する電氣爐の個性とも言ふべきものは非常に差があり、熔鋼の條件も異なり、上述の鑛石使用量も劃一的のものではあり得ない。唯脱炭速度による水素減少の状況は前述の様に普遍的のものであるから、或る一つの爐に就ては前述の



第5圖 酸化期脱炭狀況

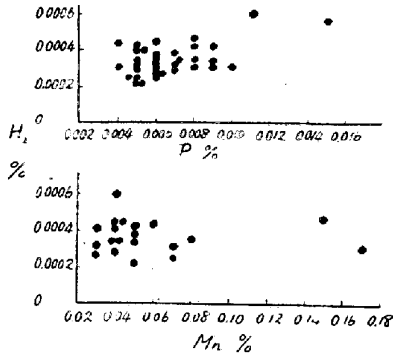


第6圖 脱炭量と鑛石使用量(時間)との關係

脱炭速度を満足する様な脱炭量を求め、それから鑄石使用量を決定すべきである。

iii. 水素と熔鋼成分との關係

炭素以外の熔鋼中の各成分と、水素との關係を第7圖に示した。酸化末期のマンガン、磷等は水素と或程度の關聯性を示して居るが、これはむしろマンガン、磷の炭素との關聯性によるものと思はれる。



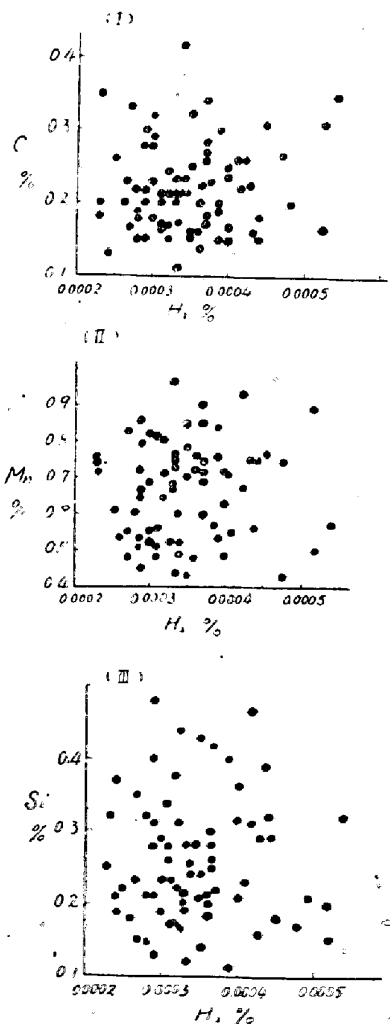
第7圖 酸化末期 Mn, P と水素との關係

一方熔鋼完成後の諸成分と水素との間には殆んど關係は見出し得ない。このことは水素の増減は熔鋼中の諸成分とは關係なく別個のものであることを示すものであり、そのために一層水素の除去及び判定が困難であることを示すものである。

iv. 爐況及び使用材料による水素の増加

酸化期での水素の減少に就ては、上述の條件を充分に注意して實施すべきであるが、折角のこの様な努力も、爐況或は使用材料に就ての不注意のために無駄になることが少なくない。次にその二三の例を擧げることとする。

爐壁及びライニングの乾燥不十分に起因する熔鋼不良に就てはその程度が明らかでなかつたが、一度乾燥不十分のまま操業



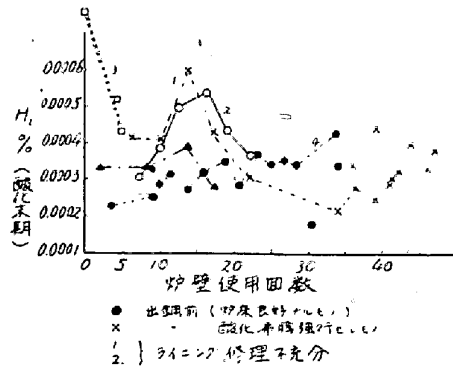
第8圖 出鋼前各種成分と H₂ との關係

を行なつた所、第3回目迄明らかに押湯が吹いて巢を生じたので、これを確かめるために、爐壁及びライニング大修理後、直ちに再生銑熔解を行なつて水素の分析を行なつた。その結果は次に示す様に明らかな水素量の増加を示した。

第2表 爐體修理直後の水素の増加 (鑄鐵)

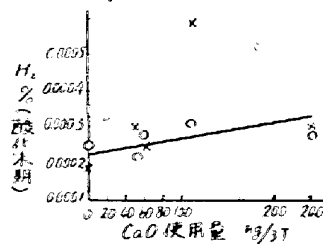
爐壁修理後操業回数	出銑後 H ₂ %
1	0,00076
3	0,00051
5	0,00043

次に爐の使用回数と水素量の變化を第9圖に示した。圖に示される様にライニングの築造不良のものでは15回目位に水素量が増加する所があるが、これは最初からのライニングの崩壊が順次多くなり、そのために補修マグネシアの量が増加し、その中の水分によつて水素が増したものであると思はれる。依つてこれを改良したものに就て測定した結果は線-4に示す様に水素量は順次増加した。この結果から普通の場合には爐體からの水素の侵入は餘り大きくないと思はれる。



第9圖 熔鋼中水素に及ぼす爐況の影響

次に使用材料による水素の増加であるが、一般材料中の自由水分を分析した結果を第3表に示した。この結果によると110°Cで放出される水分丈でも相當多量であり、特に鑄石中の水分は多く、これの乾燥は大事である



第10圖 石灰使用量の酸化期水素量に及ぼす影響
○ 除滓前
× 鑄石投入前

ことが判る。Fe-Si, Fe-Mn等に就ては既に一般的に注意が拂はれて居る通りである。使用材料による水素増加の一例として H₂O = 1.73% を含む石灰を酸化期に使用した場合の水素の増加を第10圖に示したが、こ

れからも石灰に就ては特に注意を拂ふ必要がある。

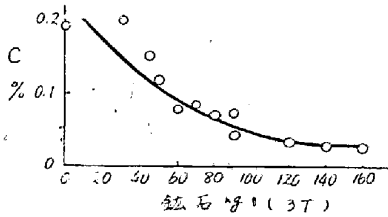
III. 酸化期鋼滓に就て

電氣爐操業中の酸化期の目的は前述の様に熔鋼中の瓦斯、特に水素瓦斯を追出すことにあるが、一方脱磷は鹽基性電氣爐操業の主眼目であり、例へば鑄鋼材が磷の作用に關して相當鈍感であるとしてもこれを全然没却することは許されない。又既に常識とされて居る様に脱炭と脱磷とは常に關聯して居るのでこれらに重要な影響を及ぼす酸化期鋼滓に就て検討する必要がある。

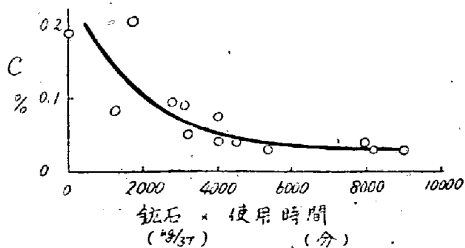
(1) 熔鋼の脱炭に關する諸條件

熔鋼の脱炭は酸素の導入によつて行はれ、その手段として鐵鑛石、スケール等が用ひられるがここでは 3.5t 爐で鐵鑛石を使用した場合に就て考察することとする。

第一に考へられる鑛石使用量(熔鋼越當り)と酸化末期の炭素量との關係を第 11 圖に示した。この場合鑛石投入の時期は完全熔落少し前であり、投入後除滓迄の時間は約 50~60 分である。この結果を見ると普通に鑄鋼屑、旋屑、ポンチ屑等を主材料としたこの電氣爐では鑛石を使用しない場合にも炭素は大體 $C=0.2\%$ 迄低下し、使用鑛石量を増加するにつれて漸次低下し、鑛石使用量が 40kg/t を超えると大體一定値の $C=0.03\%$ に達し、これ以上鑛石を使用しても徒らに酸素を増加して炭素低下の目的は達せられないことを示して居る。又これから見て炭素といふ條件を考へると、この様な鑛石使用法によるときは水素を最低とする條件の $C=0.06\%$ では鑛石の使用量は 25kg/t 程度であることを示して居る。次に前に示した第 5 圖から判る様に鑛石投入後の有効な時間は大體 30 分程度であることが認められる。勿論實際の場合には熔鋼の温度上昇、非金属介在物の除去のため等に尙 10~20 分を

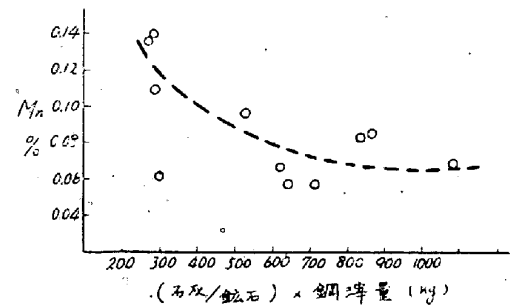
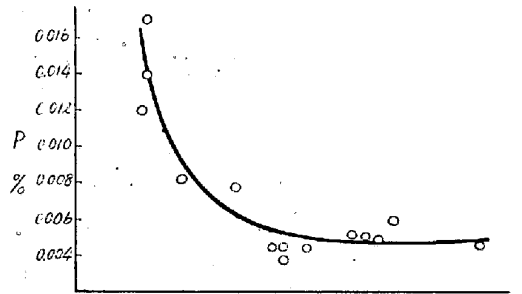
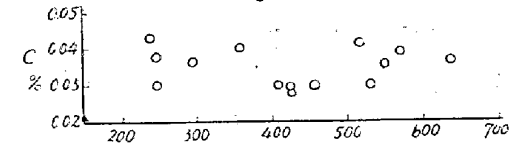


第 11 圖 鑛石使用量と酸化末期炭素との關係

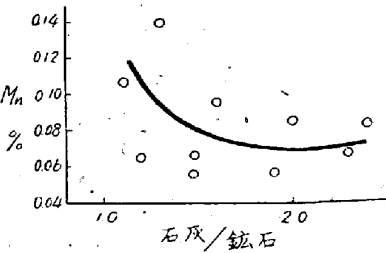
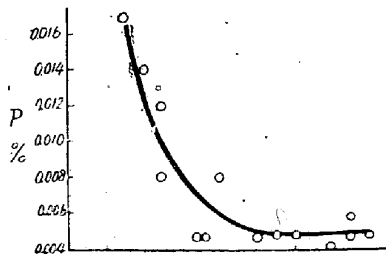
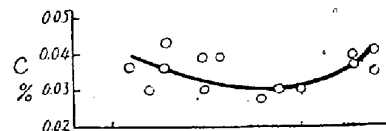


第 12 圖 鑛石使用時間と脱炭との關係

要することはよく知られて居る通りである。更に鑛石使用時間と炭素量との關係を第 12 圖に示したが、その結果はむしろ鑛石量の場合よりも明らかでない。この



第 13 圖 (石灰鑛石) × (鋼滓量 kg) 3t 爐



第 14 圖 石灰/鑛石の關係

原因としては鑛石使用後、除滓迄の時間が必ずしも脱炭のみに必要な時間でなく、その他の條件に左右されたためと考へられる。

鋼滓の量に就ては 70~130kg/T の範圍で石灰と鑛石の各比率のものに就て試験した結果を第 13, 14 圖に示したが、この結果から脱炭に主として關與するものは鑛石量丈であり、鋼滓中の FeO

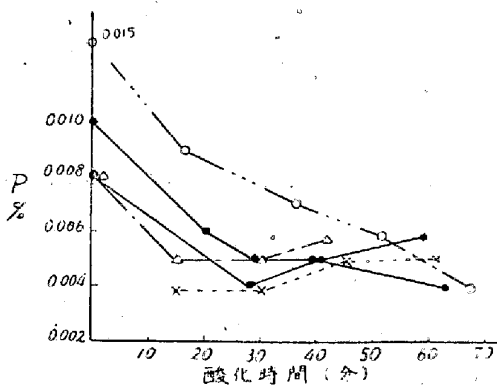
の比率、鋼滓の量は餘り關係しないことが推察される。唯餘りにも鑛石の量を多くすることは熔鋼を過酸化とする許りでなく、ライニングの侵蝕を大きくするのでこの方面からも自然に制限を受けるものである。

(2) 脱磷に關する諸條件

脱磷に就ては石灰/鑛石の比が重要であることは周知の通りであるが、試験の結果も同様で、大體、石灰/鑛石の比が1.8位迄は急激に脱磷作用は活潑となるが、これ以上石灰を増しても餘り効果が無いことが判断される。(第14圖、前出)この場合も鋼滓量は前述の70~130 kg/t 程度では殆んどその影響は認められない。

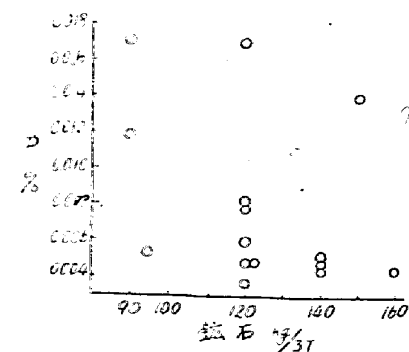
鑛石投入後の脱磷の進行状態は第15圖に示される様に餘り時間を長く放置しても有利でないことが知られる。又脱磷は當然鑛石投入によつて進行するのであるから、鑛石使用量と脱磷との間には一見關係がある様に考へられるが、實際は第16圖に示される様に餘り明らかには表はれない。これは鑛石量よりも、石灰/鑛石の比が更に重要であり、脱磷の進行は石灰、鑛石の両者が平衡して初めて進行することを示すものである。

以上の脱炭、脱磷の兩者を上手に平衡させることが出来れば、使用鑛石量は求められ、従つてこれに要する



第15圖 酸化期脱磷狀況

石灰/鑛石の比から石灰の量が求められ、これを基礎として鋼滓量を知り得ることになる。又温度に就ては脱磷は低温で、沸騰は高温で有利であることは周知の通りであり、この方面からも鑛石



第16圖 酸化末期脱磷に及ぼす鑛石投入量の關係

投入の時期は考察すべきである。

IV. 熔鋼中の酸素の除去に就て

(1) 酸化期に於ける酸素の増加

酸化期の目的が水素、磷の除去にあり、その手段として取られるものが酸化作用である必然の結果として、熔鋼中の酸素が増加する。そうしてこれの除去が精錬期での重要事項として残されるのである。往々にして唯酸化すること丈が酸化期の必要條件であるかの様に考へられ勝であるが、鑄鋼熔解作業の様に、磷の除去が必ずしも絶対條件でない場合には、酸化作用は唯水素の除去作用のために附随するものと考へ度く、この意味から水素の除去さへ充分であれば、酸化は最少限度に止める様に努力すべきである。

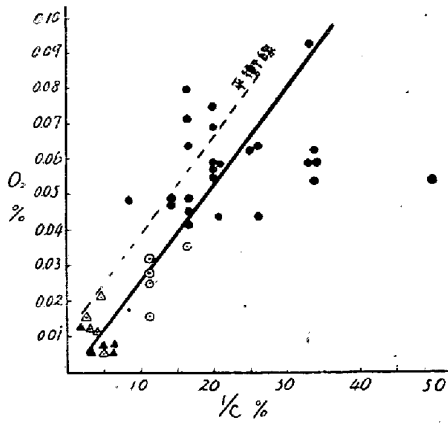
そこで普通操業での酸化作用の結果、熔鋼中の酸素が何の程度増加し、水素の除去と何ういふ關係を持つかを簡単に考察することとする。

將來熔鋼中の酸素分析が簡単に行はれる様になれば、直接酸素を定量して熔鋼の状況を知り得るであらうが、現在では急に望み得ないので、他との關聯を求めよう仕方がない。この意味から水素の場合と同様に酸化期熔鋼中の炭素が重視される。

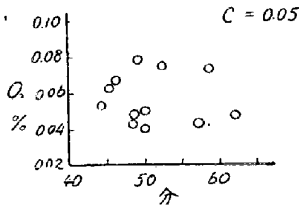
理想状態の平衡關係が成立した場合の、酸素—炭素の關係は理論的にも、實驗的にも論じ盡されており、大體一致した結果が得られて居る、これに對し實際操業の結果が何の程度一致するかが我々の最も知り度い所である。3t 及び 5t 爐で普通操業を行なつた場合のこれらの關係は第17圖に示す様に平衡線と大體平行する關係を示すが、全體に就て平衡線よりも酸素が高い側にある。これは學振報告にも報告されて居る所であるが結局酸化期の條件は平衡論的よりも他の原因があるとも考へられ、又周知の様に炭素の微量分析も尙不完全であることも原因すると考へられる。然し一般的の $C > 0.05\%$ では大體平衡線に近く、それと平行する關係にあることが知られる。

炭素と酸素が反應して熔鋼が大體平衡に達する時間に就ては、現場的にも尙検討の餘地があるが、普通少量の鑛石を投入して見られる沸騰は大體 20~30 分程度であり、前述の鑛石投入後の炭素の低下は約 30 分位で停止すること等から、大體この位の時間で反應は終るものと想像される。その一例として酸化末期炭素を $C = 0.05\%$ と一定した場合の鑛石投入後の時間と、酸素との關係を第18圖に示したが、40 分以上では殆ど一定になることを示して居る。

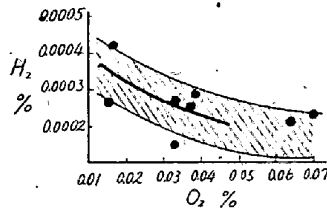
次に酸素—水素の關係に就ては學振報告によると、



▲ 還元 ○ 酸化期 ▲ 元還
第 17 圖 實際操業に於ける酸素—炭素
の關係 溫度 1620°C



第 18 圖
炭素の減少と時間
の關係



第 19 圖
酸化末期水素—酸素
の關係 (學振)

第 19 圖に示される様に大體の關聯性が認められる。これから酸化期に達すべき水素の量を $H_2=0.0003\%$ とすれば、このときの酸素は $O_2=0.02\sim 0.03\%$ であり、これを酸素—炭素の關係(第 17 圖)に入れると、 $C=0.1\%$ となり、略酸化期の炭素を決定出来る。尙この關係は酸化期の水素—炭素の關係から求めた炭素量と略一致する。

これらの結果から酸化末期を規定するものとしては、 $C=0.1\%$ 、 $O_2=0.03\%$ 附近を目標とすべきものと考へる。

最後に以上のことを論ずる際に重要な溫度の考察を缺いて居るが、大體酸化末期の熔鋼溫度は $1620\sim 1630^\circ C$ である。

(2) 精鍊期に於ける酸素の除去

i. Mn, Si, Al による脱酸

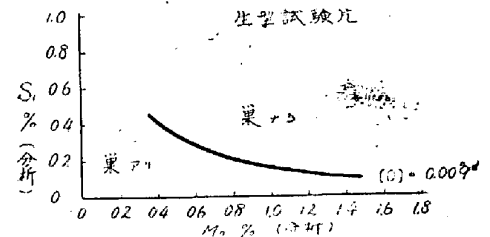
Mn, Si, Al が單獨に存在する場合の酸素との平衡に就ては多くの資料が提出されて居る。然し一般に脱酸方法として採られて居る、Mn, Si を併用した場合、更に Al を加へたもの等に就ての脱酸の極限ともいふべきものに就ての結果は少ない、この場合炭素による脱酸も勿論度外視することは間違であるが、ここで取扱ふ様な

$C=0.2\%$ 程度の鑄鋼材としては、Mn, Si の方が脱酸力は遙かに強いので一應除外して見る。

Mn, Si を併用した場合の酸素との關係に就ては河合氏の研究があり、その結果は筆者の實驗結果¹⁾と良く一致した。

この結果、普通鑄鋼材として熔鋼による巢を防止し得る限界としては、熔鋼中の水素を $H_2=0.0005\%$ 程度として、 $O_2<0.01\%$ であり、Mn, Si でこの條件を満足するには $Mn>0.65\%$ 、 $Si>0.25\%$ を要することを明らかにした。これらの結果から酸素除去の極限が見出され、又それに必要な脱酸劑の量をも決定することが出来る。依つて精鍊期にはこの目標を達成する様な作業方法を探らなくてはならない

次に Mn, Si の使用の順序であるが、第 20 圖に示される様に Mn が少ない時に Si を使用することは不利であつて、或程度 Mn で脱酸した後に Si を用ひて初めて有効であることが認められる。この意味からも脱酸の方法として、 $C\rightarrow Mn\rightarrow Si\leftarrow Al$ の順をとることが正しいことが立證された。



第 20 圖 Mn, Si と巢との關係

尙非金属介在物の生成に就ては、それが直接に鑄鋼材の性質に關係することは餘り認められないので觸れて居ないが、勿論故意に非金属介在物を作る必要は少しもないのであつて、これに關する Schenck 氏⁷⁾の實驗結果は充分參照する必要があり、 $Mn\rightarrow Si$ といふ投入方法は前記の結果とも一致し、又 Mn に對して多量の Si を使用することの不利であることも良く一致して居る。

ii. Mn, Si の投入方法と歩留

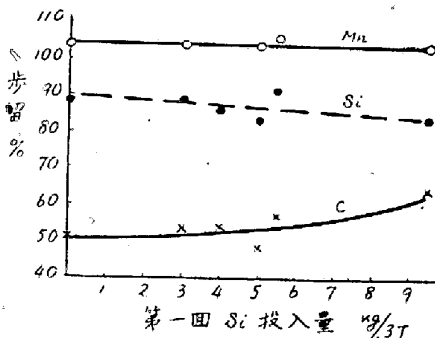
前述の様に Mn を加へずに Si を最初から加へることの不利であることは明らかであるが、更に Mn, Si の投入方法とその歩留、及び効果を調査して有利な脱酸劑の使用方法を決定すべきである。

次に一例として簡単な試験結果を述べる。

使用電氣爐は 3t 鹽基性電氣爐であり、精鍊期の初期に裝入量の 3% のコークスを投入する。この場合の Mn, Si、特に Si の投入量を變化した場合を試験した。各熔解試験群は何れも十數回同一條件を繰返し、その平

均値をとつた。

これらの結果を第 21 圖、第 4 表に示したが、C、Mn、Si の歩留を第一回の Si 投入量に就て検討すると、第 21 圖の様に、第一回 Si 投入量の多いものが少々 Si の歩留悪く、Mn は殆ど變化なく、C は却つて歩留が良くなる。Si の歩留の變化が小さいことは少々意外であつたが、これは第一回 Mn 投入量が各試験群で略一定して居り、その量も可成多いためと考へられる。C の歩留が Si が多い程良好であるのは熔鋼が早く鎮靜し、そのために滲炭が容易になるためであらう。この結果から直ちに脱酸剤の使用方法を決定することは出来ないが、所謂強制脱酸剤が必ずしも不利でないこと、又精鍊末期に脱酸剤を多入することは爐況の變化が急激であり、その擴散も充分に行はれぬ嫌ひがあり、必ずしも有利でないことが了解され、結局は作業方法をも充分考へて決定されるべきである。



第 21 圖 Mn、Si 投入法と歩留の關係

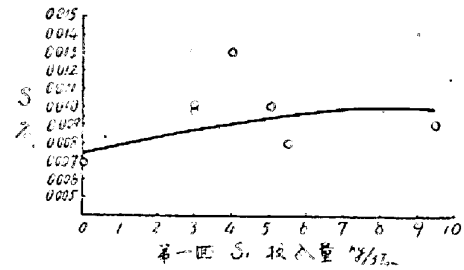
第 4 表 Mn、Si の投入法と歩留

投入群	投入割合 kg/3t						歩留 %		
	Mn			Si			C	Mn	Si
	I	II	III	I	II	III			
III	9	7	3	4	3	5.5	53	102	86
IV	10	4	3.5	5	3	3	48	104	83
II	12	5	2	3	4	4	53	104	89
I	12	5	2	0	5	5	51	104	88
V	9	5	5	5.5	4	4.5	57	106	91
VI	9	5	5	9.5	4.5	0	64	103	84

iii. 差物の投入方法が脱硫及び非金属介在物に及ぼす影響

前記の試験中、Si の投入方法の相違が脱硫に及ぼす影響を第 22 圖に示した。この結果によると第一回投入の Si が多くと脱硫が少々悪くなることを示して居る。これは鋼滓中への Si の添加が多くなると鋼滓中の SiO₂ が増加するためにその鹽基度が弱くなるためと考へられる。この意味からも最初に多量の Si を投入することが

不利であることが推量される。



第 22 圖 脱硫と Si 投入の關係

次に Mn、Si の投入法と非金属介在物の關係であるが、簡単に常用の金型試験片を各熔解群から一個宛抽出して、断面の一定の場所の顯微鏡寫眞をとり、非金属介在物を比較して順位をつけた。その結果を第 5 表に示した。非金属介在物の多少は必ずしも Si の投入量と一致せず、又第一回の Si 投入量の多いものが必ずしも介在物が多いとは限らず、むしろ逆の傾向さへ示して居る。これは谷山⁸⁾、小林⁹⁾ 氏等も認めて居る所であり、Si の投入量が非金属介在物（特に大型の SiO₂ 系のもの）に關係しないことを示すものである。

第 5 表 Mn、Si の投入方法と非金属介在物との關係

投入群	I	II	III	IV	V	VI
第一回 Si 投入量 kg/3t	0	3	4	5	5.5	9.5
非金属介在物の多い順序	3	1	2	5	—	4

iv. 鋼滓の作用に就て

熔鋼の脱酸に關する鋼滓の作用に就ては勿論これを輕視することは出来ないが、鑄鋼熔解作業の様に餘り原價が高くなることを嫌ひ、且つ非金属介在物を左程重視する必要のない場合には強制脱酸の方式が採用されることが有利であるので、自然に脱酸に關しては鋼滓の作用は第 2 義的となる。又水素侵入の問題に對しても強力なカーバイト鋼滓は有利でないので自然鋼滓としては作用の弱い白滓が考へられる。依つて脱酸に就ては特に鋼滓の問題は採上げない。但し後述の様に脱硫に就ては充分この問題を検討する必要がある。

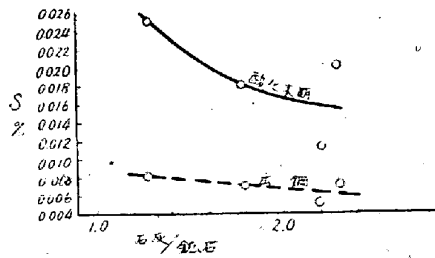
V. 熔鋼中の各成分の調節

(1) 硫黄の除去

i. 酸化期鋼滓と脱硫

酸化期鋼滓の本來の目的は脱磷、脱炭にあり、脱硫は期待すべきではないが、鋼滓の組成が CaO—FeO 系で

ある關係上、全然硫黄と無關係ではあり得ない。勿論この場合の脱硫反應は輕微であるが、これを無視して還元期に過大の硫黄を送ることは策を得たものではない。特に鑄鋼材としては硫黄は最も嫌ふべきものであるためこの必要は更に倍加される。第23圖に鋼滓中の石灰/鐵石の比と酸化末期硫黄との關係を示したが、この結果は相當著るしく、脱硫の見地からも酸化期鋼滓で石灰/鐵石 ≈ 2 附近が有利であることを示して居る。



第23圖 脱硫に及ぼす酸化期投入石灰/鐵石の影響

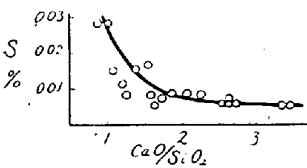
ii. 還元期鋼滓の脱硫

還元期鋼滓の脱硫作用は鹽基性電氣爐の最大眼目であり、既に多くの試料が發表されて居るので此處には直接現場的に關係する二三の因子に就て述べるに止める。

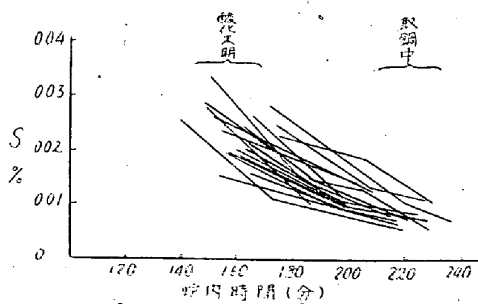
石灰比(CaO/SiO₂)と脱硫との關係は實際の操業でも明らかで第24圖に示される通りである。この結果からも鋼滓中の石灰比は2附近を保つことが必要である。

次に鋼滓の量であるが、これは電氣爐の形狀、特に鋼浴の面積、深さに關係するものであるが少量の時には脱硫不充分、過大の時には鋼滓の生成が遅く、鋼浴の溫度上昇不充分となるので各爐に就て最も適當なものを選

定すべきであるが40 kg/t 附近が標準と考へられる。この結果は學振の調査結果と大體一致する。尙還元期中の脱硫の進行狀況は第25圖に示される様に



第24圖 石灰比と脱硫との關係

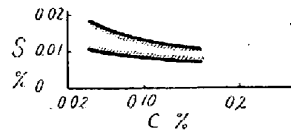


第25圖 精鍊期脱硫の進行狀況

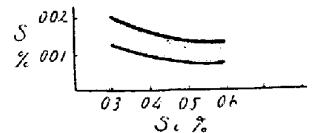
時間と共に進行し、約60分で飽和する様である。

iii. 熔鋼の酸化狀況と脱硫

熔鋼の酸化が大きいと、これを脱酸するために鋼滓は消費され脱硫が不充分となることは周知のことであるが、酸化末期炭素と出鋼時の硫黄との間には第26圖の様な關係があり、ここにも脱硫と脱酸とは平行することが示される。然し、脱硫は必ずしも脱酸と平行しないことも多く、この點は充分に注意すべきである。



第26圖 熔鋼酸化が脱硫に及ぼす影響
CaCO₃=CaF₂=150kgの場合



第26圖 出鋼後のSiとSとの關係
CaCO₃=CaF₂=150kgの場合

iv. CaCO₃-CaF₂ 鋼滓の脱硫

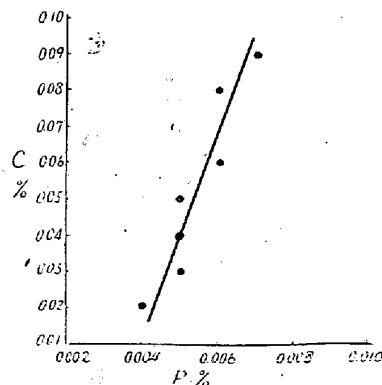
鋼滓中に多量のCaF₂を加へると脱硫作用を強化することは古くから論議されて居るが、特有のCaCO₃-CaF₂鋼滓を用ひた結果、脱硫は確かに促進される。純良な螢石を使用する場合にはS<0.01%とすることも至難ではない。然し螢石の純度が悪化すると急激に脱硫作用は低下し、却つて爐體を傷める結果のみが目立つて來るので、何時の場合にも有利であるとは斷言出來ない。

上述の様に脱硫に關しては種々の條件が關聯するので、實際作業に於ては常にこれらの狀況を判斷することが必要である。特に硫黄に就ては直接現場分析等で正確にその量を知ることが六ヶしいので自然に經驗によるものが重視されるが、最も大きな影響を與へるのは還元期鋼滓であつて鑄鋼材熔製に當つては白色鋼滓を得ることが第一條件である。尙鑄鋼材としては硫黄はMnと關聯

して見るべきであることは既に述べた通りであり、これの調節に就ては後述する。

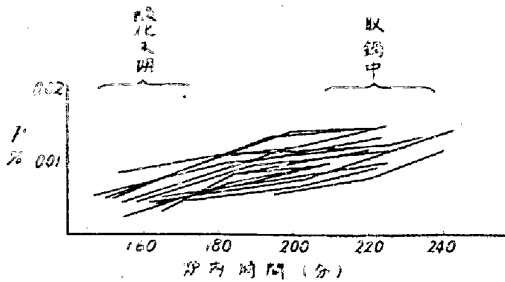
(2) 燐の除去

脱燐の條件に就ては前述したのでここではその目標となる酸化末期の燐と炭素との關係



第27圖 酸化末期PとCとの關係

を掲げるに止める。一第 27 圖一尙還元期中の復燐の状況は第 28 圖に示される通りに時間と共に増加する傾向を示す。



第 28 圖 還元期復燐の状況

(2) 各成分の現場に於ける調査

現場分析が相當に進歩した現在では信頼度も高く、時間も可成短縮されて來て、その實用性も高まつて來たがそれでも現場で機敏に判断を下すには尙不十分な點が多い。そのために現場では種々な判定法が行はれて居る。これらのものは一見非科學的の様に感ぜられるが、充分にその根拠を求めて統計的の資料を整へれば普遍的ではないが一つの場所に於ては充分に實用性があり、習熟すれば左程困難なものではない。次に筆者等の用ひて居るものを述べて参考に供したい。

i. 試験片

筆者の用ひて居る試験片は金型試験片—30×30×120mm—の横型のものであり、巢の判定には主型試験片—25φ×100mm—、通氣度 150、水分 5%、のものを使用する。

ii. 炭素量

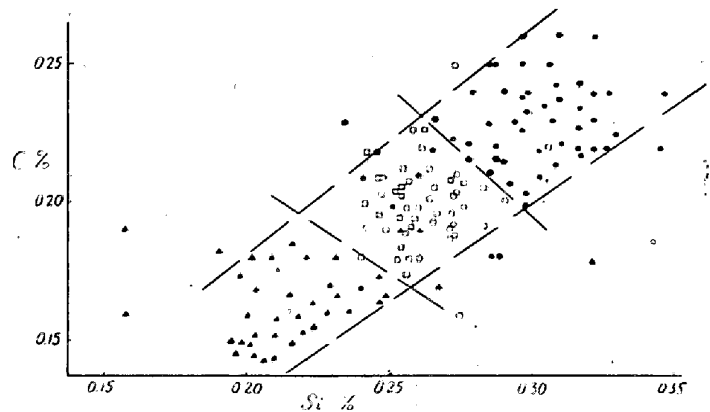
金型に熔鋼を鑄造後、約 30 秒で試片を取出し水冷して破面を検する。普通鑄鋼材として C=0.15~0.25% のものであり、特殊元素を含まない場合には破面の状況で大體の見當をつけ得る。

C<0.17% 破面密にして光澤あり、輝く樹狀品を有し、周邊に急冷による樹狀品なきもの。

C≐0.20% 破面上記のものより粗、光澤強く、周邊に急冷による樹狀品あるもの。

C>0.23% 破面粗にして光澤弱く、急冷による樹狀品大なるもの。

勿論この場合 Mn, Si も同時に増加して居るが、これは他の状況から判断することとする。尙この様な判定結果を統計的に求めたものを第 29 圖に示した。更に酸化末期の炭素量の判定には第 30 圖を用ひて居る。



第 29 圖 C, Si 量と Piece 破面との關係

- 破面度粗 (柱狀品大光澤少シ)
- " (" 光澤強シ)
- ▲ 破面密度 (柱狀品小又はなし光澤強シ)

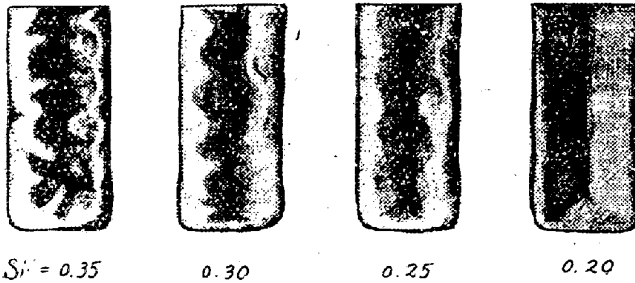


0.22 0.18 0.16 0.13 0.11 0.10 0.09 0.08 0.07 0.06 0.05 0.04 0.03 0.02

第 30 圖 酸化末期炭素量判定試料 (約 1/3)

iii. 珪素量

珪素量は金型試験片の表面状態から判定し得る。鑄造温度を略一定とし、表面に被つた鋼滓を十分に除去し、混入を防いで金型に鑄造、固化後の表面の状況を観察する。第 31 圖は代表的のものゝ一例である。



第 31 圖 Si 量判定基準 (金型試料表面)

iv. マンガン及び硫黄

マンガン及び硫黄は前にも述べた様に高温曲げ試験¹⁰⁾で $S > 0.01\%$, $Mn < 0.6\%$ 程度で明らかに龜裂を生じる。普通熔鋼中へのマンガンの歩留は 100% に近いので計算量からも大體の見當はつけられる。若しも十分にマンガンを加へたにもかかわらず龜裂が起る場合には硫黄が多いことを示すものと見てよい。又鑄鋼材として硫黄を恐れるのは龜裂に對してであるから、必ずしも硫黄の量丈を知ることには執着する必要はない譯で、マンガン、硫黄の相對的の量を知れば宜しいのであるから、このためにはマンガンの量が 0.9% を超さない程度で曲げ試験を満足する迄マンガンを加へることが望ましい。

v. 瓦斯含有量

普通鑄鋼材として巢の發生を防ぐに充分な成分は $C \doteq 0.2\%$, $Mn > 0.65\%$, $Si > 0.25\%$ であるが直接熔鋼中の瓦斯量を知るには前述の生型試験片が有効で、この試験片を破斷した破面に巢を發生しない熔鋼は實際にも良好な結果を示して居る。

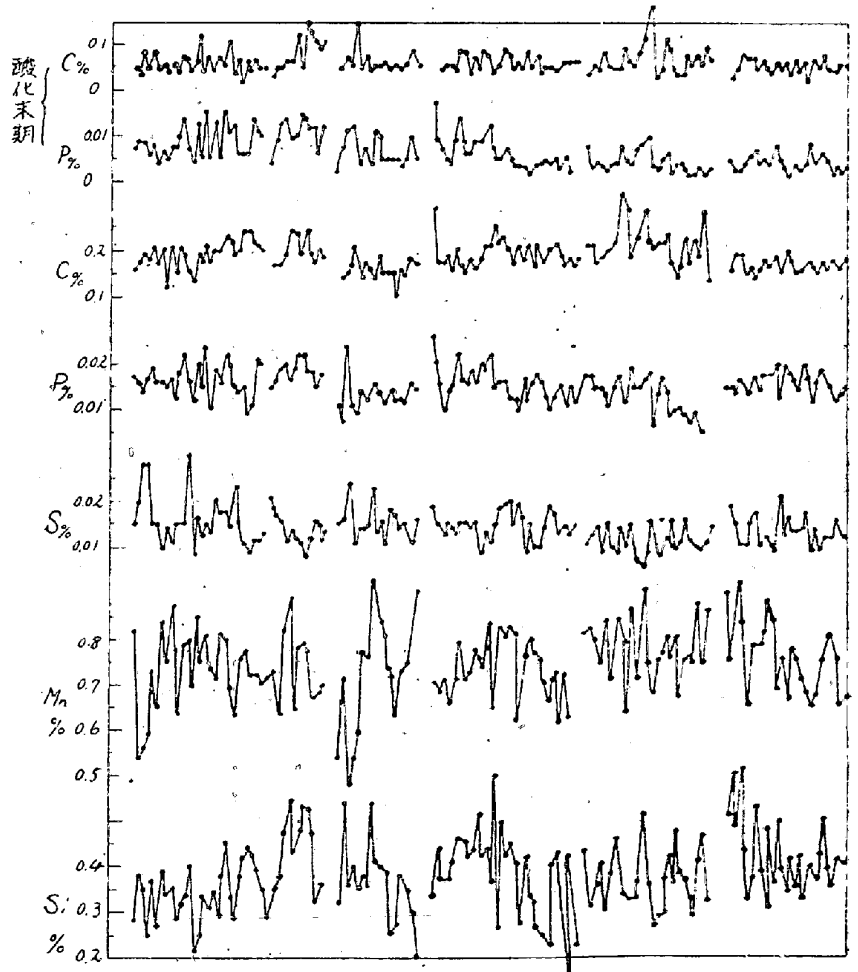
vi. 其 他

大體以上の觀察の結果、磷を除く他の成分は判定し得るのであつて、若しも不充分で判定に苦しむ場合には繰返し納得の行く迄試験すべきである。磷に就ては直接判定すべき手段はないが酸化末期の磷-炭素の關係は相當密接であるから、これから大體の見當をつけ得る。又鑄鋼材としては磷の影響が餘り大きくないことも偶然の利點である。

上述の様な手段で實際操業の結果は時には判斷を誤まることもあるが現場技術者が充分な注意を怠らなければ普通の鑄鋼材製造には大した誤りもなく作業を遂行し得る。餘り良好な實績ではないが筆者等の作業成績の一部を第 32 圖に示した。

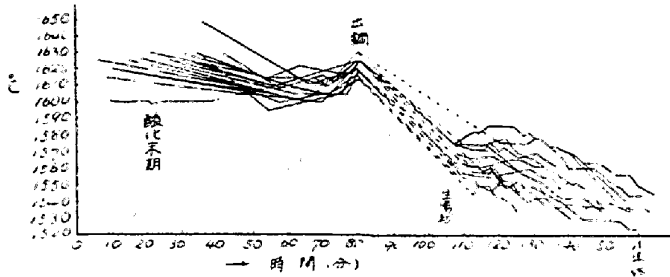
VI. 熔鋼温度の調節

熔鋼温度の調節は勿論爐内反應の見地から考慮すべきであるが、鑄造作業の場合には鑄込温度から逆に制約を受けることが大きい。鑄物としての鑄込温度の適否は複雑であつて必ずしも一定とは限らず、鑄型の方からはむしろ低温鑄造が望ましい場合もあるが、小型製品を多數に鑄込む場合には勢ひ最初のもは高温で鑄込まなければならない。今 3t 爐を一例にとり、一般の船舶用部品等を鑄造する場合の熔鋼の温度を記録したものを第 33 圖に示したが (光高温計による)、最後の熔鋼の温度が 1525°C 以下となると熔鋼は取鍋に附着し、或は湯面に酸化膜が張つて湯流れを著るしく阻害するので、熔鋼の温度をこれ以下に下げることが出来ない。又鑄込中の温



第 32 圖 作業成績表

度の低下は（但し何れも上注取鍋による）平均1°C/分程度であり、鑄込時間を大體30分とすると（實測の結果による）、出鋼温度は大約1620°C以上が適當となる。これは一般の熔解作業に適當と認められて居る温度と大體一致する。



第33圖 熔鋼温度測定結果

VII. 鑄鋼材熔解作業の一例

これ迄述べて来たことは鑄鋼材を鹼基性電氣爐で熔製する場合の基準をなすものであるが、その目的とする所は勿論鑄物としての要求を満足すべきことにあるが、鑄鋼材として要求される所が、特に一般の鋼材に要求される所と大差ない關係上、熔解法も決して突飛なものでは

あり得ない。唯熔製に當つて鑄物としての性質を満足する様に注意しなければならない。この點に就ては既に述べた通りであるが今一度要點を挙げると次の通りである。

- (1) 酸化期の主目標は水素の除去にあること。
- (2) 燐の除去は必ずしも強行する必要はないこと。
- (3) 従つて適當な脱炭速度さへ得られれば他元素の酸化は出来る丈少くすること。
- (4) 還元期には脱酸を強行して有害な酸素を極力少くすること。
- (5) 従つて非金属介在物の生成は或程度已むを得ない。
- (6) 龜裂防止の見地から脱硫は極力行ふこと。
- (7) 同様の見地からマンガンは脱酸に必要な量よりも稍々多量に用ひること。
- (8) 熔鋼中の含有瓦斯の量を重視し、これの輕減を出鋼條件の第一とすること。
- (9) 出鋼温度は1620°C以上とすること。

次に掲げる5t 鹼基性電氣爐の熔解例は決して満足なものではないが以上の意味を説明する一助とするものである。

第6表 鑄鋼材熔解作業の一例
熔解番號 290, 爐 5T 爐, 19-6-15

装入材料	重量 kg	時刻	試験片番號	C	P	S	Cu	Mn	Si	
鑄鋼 屑切石	3000 1900 1100									
灰 石 灰	150 80 150 120	14°~20' 15°~10' 16°~35' 17°~43' 54'	通電 No. 1	120V, 7000A						
Fe-Mn Fe-Si コ 登石	32 10 15 50 150	17°~49' 18°~12'	通電 No. 2	120V, 6000A	0.16	0.009	0.017	0.289	0.50	0.091
石 灰	20	18°~13' 18°~19'	No. 3							
Fe-Mn Fe-Si	8 10	18°~23' 18°~30' 18°~42'	No. 4	曲げ試験, 良, 巢試験, 良, 滓, 白色 出鋼 取鍋添加						
Fe-Mn	2.5		No. 5 (取鍋中)	0.19	0.016	0.011	0.287	0.74	0.318	
				4910K. W. H.						

VIII. 結 語

従來の製鋼作業に限られた概念から脱却して、鑄鋼材としての性質を満足する様な鑄鋼材熔製法ともいふべきものを考へ、この見地から熔解作業を検討して見たのであるが、筆者の非力から豫期通りの結論は得られなかつたが今後鋼鑄物の進歩に對して一つの捨石にでもなれば幸である。尙將來は更に經濟的條件をも考へた上、充分な脱水素を行ひ得ることを根據として無酸化熔解法の検討、酸性操業法の検討を行ひ、鑄鋼材熔製法の確立を期したい。

終りに終始筆者の實驗、熔解作業に助力を與へられた三菱長崎造船所鑄造工場、實驗場の諸氏に深く感謝の意を表するものであり、筆者をして鑄鋼材熔製法に向ふ端緒を與へられ、終始鞭撻を賜はつた三菱廣島造船所副所長平岡正哉氏に深甚の謝意を表し、併せて筆者の微力未

だに氏の理想に到達し得ないことを御詫びするものである。(昭. 24. 7 月寄稿)

文 献

- 1) 木下: 鐵と鋼 29 年, 8, 9 號, 30 年 6 號.
- 2) 學振 19 小委員會報告: X 昭和 15 年
特殊鋼材の製造に関する研究 (5).
- 3) 室井: 學振 19 小委員會報告 X.
- 4) 石川, 山本: 廣廠造機部工研 第 32 號.
- 5) 俵: 鐵と鋼 28 年 10 號.
- 6) 河合: 鐵と鋼 29 年 12 號.
- 7) Schenck: Physikalische Chemie der
Eisenhütten prozess.
- 8) 谷山: 特殊鋼熔解法.
- 9) 小林: 鐵と鋼 29 年 8 號.
學振 19 小委員會報告 Ⅷ 昭 14 年.

鑄物砂の粒度に関する一考察

西 原 初 馬*

STUDY ON THE GRAIN SIZE OF FOUNDRY-SAND

Hatsuma Nishihara

Synopsis :

- (1) In case the time of sand mixing with the additional clay is constant, it is less effective to add such amount of additional clay as becoming a washed clay.
- (2) In view of enhancing the effect of additional Clay, small grain of the raw sand itself shall be removed.
- (3) Even increasing the time of sand mixing, the sand grains would not be broken in proportion thereto.
- (4) In case sand mixing takes a long time it shall be performed after small grains have been removed just like in the case of (2).

I. 緒 言

現在我々が使用してゐる鑄物砂は砂と粘土と其の他の粘結物との配合に依り構成されてゐるが、其の内でも砂と粘土との配合は其の鑄物砂としての價值の大半を決定するものと思はれる。然しながら砂に粘土を配合する場合に混砂機を使用するが此の混砂機を使用せずして混砂する即ち砂粒が破壊されないやうに混砂する場合を考へるに混砂して砂粒が破壊する場合と同様の粘土量を配合

したのでは理想的な鑄物砂とする事は出来ない。これは粘土の洗淨粘土分が少い。即ち粘土が細粒でない現在のやうな場合には特に著しい。そこで多量の粘土を配合しなければならぬ事になり鑄物砂としてあまり好ましくない。然らば混砂機を用ふる事によりどの程度洗淨粘土が増加し、砂粒が破壊されるかは非常に重要な事であると思ふ。然かも混砂時間により洗淨粘土量が變化する。

* 四國機械工業株式會社