

熔鋳炉炉底における特殊吹精の予備実験

金森研究室

1. はしがき

鉄の中に含まれた硫黄は赤熱脆性の原因になる有害元素であることは周知の事実である。この硫黄は製鉄原料としてのコークス及び鉍石から入ってくるが、一度銑鉄の中に入ってしまうとその後の過程（製鋼）でこれを除去することは極めて難しい。（もつとも塩基性電気炉では相当脱硫できるが、製鋼において電気炉製鋼の占める割合は小さい）。従って脱硫を効果的に行うことは熔鋳炉の重要な機能の一つとなつている。

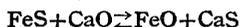
一方コークス中の硫黄は原料炭の粗悪化に伴って年々増加してゆくとみられ（アメリカ大統領資源対策委員会ベリー報告）、脱硫能率を向上させることは世界的課題となりつつある。

特にわが国では銑鉄原価の90%を占めている原料費を切下げる為、高価な輸入原料（主としてアメリカ）を国内原料又は中国や東南アジアの原料でおきかえる必要があるが、これ等の原料には硫黄の高いものが多いから、脱硫の能率が向上しない限り銑鉄中の硫黄分の増加は避けられない。（もつとも本来の意味での熔鋳炉操業の範囲内で脱硫を強化することはできるが、この場合同時に銑鉄中の珪素が増加する結果となるだけでなく、脱硫の強化には限度があるから、結局低硫黄、低珪素の優良平炉銑を得ることは難しい）。

筆者はこの問題の解決を目的として、以前筆者が行つた熔鋳炉湯道（出銑口から取鍋までの通路）における「緩流吹精法」と、酸素製鋼の経験を発展させて「熔鋳炉炉底における特殊吹精法」を考えだした。

2. 原理

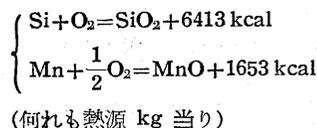
製鉄、製鋼過程における脱硫は鉍滓中の游離石灰によつて次の式に従つて行われる。



この反応は(1)鉍滓中のCaOの濃度が大きい程、(2)鉍滓中のFeOの濃度が小さい程、(3)温度が高い程右に進み脱硫が進行する。熔鋳炉内は還元性の零囲気

である上に、湯溜には多量のコークスが存在し、又熔鋳中にはSi、Mnなどの還元性の元素が1~2%あるから、(2)の条件は満たされている。そこで熔鋳中のSi、Mnなどを強制的に酸化し、次の式による発熱によつて温度を上昇させることができれば、(1)の条件が同じでも脱硫は促進される筈である。

である上に、湯溜には多量のコークスが存在し、又熔鋳中にはSi、Mnなどの還元性の元素が1~2%あるから、(2)の条件は満たされている。そこで熔鋳中のSi、Mnなどを強制的に酸化し、次の式による発熱によつて温度を上昇させることができれば、(1)の条件が同じでも脱硫は促進される筈である。



さらに鉍滓中のCaOの濃度を急速且簡単に高めることができればその効果はさらに大きくなるだろう。

筆者はここに着目して、熔鋳炉において(1)炉外から炉壁に設けた孔を通じて鋼管を湯溜内に挿入し、このパイプによつて空気又は酸素富化空気を熔鋳中に吹込み、熔鋳中のSi、Mnなどを酸化して温度を上昇させると共に、(2)羽口から石灰粒又は石灰粉と吹込んで鉍滓の塩基度(CaO/SiO₂—游離石灰濃度の基準と考へられている)を迅速に高めることによつて、脱硫効果を飛躍的に向上させることを狙つたのである。

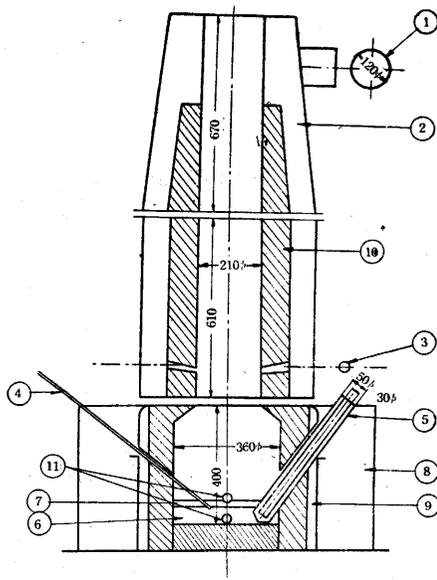
3. 実験

昭和24年4月から翌25年9月迄、筆者は容量約150~180 kg/hrの小型キューボラで実験を行つた。キューボラは零囲気が中性であるから熔鋳炉とやや異なるが、湯溜内には多量のコークスが存在し、羽口面以下の部分に関する限りほぼ熔鋳炉と同じものと考えられるのでこれを採用した。

(1) 設備

第1図に使用したキューボラ及び温度測定装置を示す。キューボラ本体は上、中、下の三体に分解でき、且つ上、中鼓式は二重壁となつていて、この風函によつて送風の予熱を行うようにした。羽口数は4本、出銑口は上、下二つある。下鼓式鉄皮の外側には鉍滓綿、内側にはイソライト煉瓦を巻いて放熱を防いだ。

⑤のカーボンパイプは外径50 mm、内径30 mmでこのパイプの先端部の温度を光高温計によつて測定した。



- 1. 送風口
- 2. 風 函
- 3. 羽口 (35φ)
- 4. 吹精パイプ
- 5. カーボンパイプ
- 6. 熔 銑
- 7. 熔 滓
- 8. 鉍滓綿
- 9. イソライト煉瓦
- 10. シャモット煉瓦
- 11. 出銑口

第 1 図 キュ ボラ

④は内径 12 mm の鋼管でこのパイプを通じて空気又は酸素富化空気を吹込む。吹込圧力は 1.5 kg/cm² で、酸素を富化する場合は 3 本のポンペから減圧バルブを通して 2.5 kg/cm² に落した酸素を空気取出口の直前で圧縮空気 (1.5 kg/cm²) に添加する。

(2) 実験方法

(イ) 第 1 表のような条件でキュ ボラ操作を行う。

第 1 表 キュ ボラ操作条件

1 回装入量 kg			送風 関係		コーク ス比	熔 解 速 度 kg/hr	出銑 温 度 °C
銑鉄	コー クス	石灰 石	送風量 m ³ /min	送風圧力 mmAq			
10.0	2.0	4.0	7.0	170	0.2	150~ 180	1300

ここで石灰石の 1 回装入量は通常の場合 (銑鉄 10 kg に対し 0.5 kg 位) に比べて著しく高い。これは通常の装入量では鉍滓の塩基度が 0.6~0.7 で、熔銑炉鉍滓のそれ (1.3 位) に比べて遙かに小さく、従つて又脱硫の能力も小さいから、条件を熔銑炉に近づけるため、石灰石を追加する必要があつたからである。この実験を行つた当時は石灰を羽口から吹込む装置が完成していなかつたため炉頂から過剰に装入する方法をとつた。もちろん普通操作では湯溜温度は 1300°C どまりだから、これだけの石灰石を鉍滓の中に消化することができない。

(ロ) 熔銑が上部出銑口附近迄溜つた時 (約 50 kg)

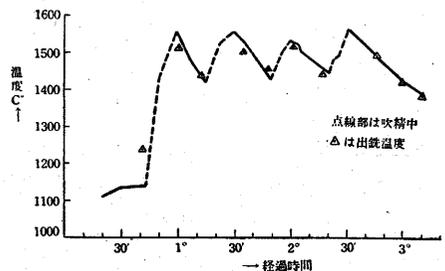
吹精パイプを第 1 図の如く挿入し酸素を 40% に富化した空気を圧力 1.5 kg/cm²、流量 1 m³/min で熔銑中に吹込む。これによつて熔銑温度 (カーボンパイプ温度) が上昇し、ほぼ 1550°C に達したら吹込みを中止する。吹精中止後は温度は自然に降下するが、これがほぼ 1400°C になつた時再度前述の条件で吹精を行い、以下この操作をほぼ 2.5~3.0 hr の間繰返す。この高温保持によつて過剰に装入した石灰石をほぼ完全に消化し、高温で、強塩基性鉍滓を炉内に存在せしめる。

(ハ) この間熔銑は絶えず湯溜内に滴下するから、湯溜部の熔銑量が 90 kg 前後に達したら、上部出銑口から出銑する。従つて上部出銑口以下には操業の全期間を通じて熔銑が溜つていることになる。各出銑毎に銑鉄試料をとり分析する。鉍滓試料は原則として吹精中に吹精口 (パイプ挿入口) から流出するものを取り、出滓はできるだけ行わないようにした。何とならば脱硫には鉍滓重量の多い程有利であるのに、キュ ボラの場合は銑鉄屯当り 0.2 以下で熔銑炉の場合 (銑鉄屯当り 0.7 屯前後) に比し著しく少く、滓量の減少を防ぐ必要があつたからである。

(3) 実験結果

(イ) 温度上昇について……温度上昇の程度は吹精時間、吹込ガス中の酸素濃度、吹精パイプ先端の位置によつて異なる。然し吹精時間が長くなるにつれて熱源が少くなる為上昇速度が次第に遅くなる。特に空気による吹精の場合は時間が長くなつても最高温度は 1450°C 附近にとまり、炉体の輻射熱と塵ガスの持去る顕熱のため 1500°C 以上にすることは不可能である。パイプ先端の位置についていえば、もちろん熔銑表面 (表面吹) よりも熔銑層内に浸つている場合 (浸漬吹) の方が有利であつた。従つて結局吹精法としては酸素 40% 富化で、浸漬吹に落着いたのである。

第 2 図は一操業期間における温度変化の一例を示す。



第 2 図 操業中温度変化の一例

始めの温度が低いのはキュ ボラ操作の初期においては炉底が冷えていること、及び温度測定用カーボンパイプ周辺に銑鉄、鉍滓などが凝固附着して熔銑の真温度を表さないことによる。2 回目以後の吹精における温度上昇速度は平均 15°C/min である。なお温度降下速度は

操業時間が長くなるにつれて小さくなり、始めは7.5°C/min 終りは5°C/min 位である。従つて1400°C から1550°C に上昇させるのに必要な吹精時間は約10分、逆に降下する時間は20~30分である。

温度上昇の熱源は熔銑中のSi, Mn及び湯溜内のコークスであるが、発生熱のうちこれ等のおのおの占める割合を定量的に確めることはできなかつた。然し上昇速度から考えるとSiが熱源の主体であることは疑いない。

(ロ) 脱珪について……吹精前Si 2.0%の熔銑50kgを空気で10分間吹精すると0.4~0.6%に低下すなわち70~80%まで脱除されるが、酸素40%の場合は0.06~0.08%まで、すなわち95%以上脱除される。

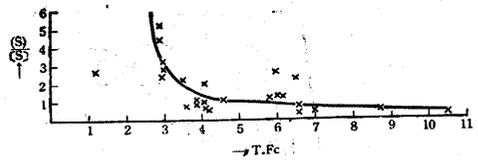
(ハ) 石灰石の消化状態について……前述のように脱硫の為には高温、強塩基性鉍滓の存在が必要であるが、小型キューボラの場合は石灰石の鉍滓への消化の為に長時間にわたる高温の保持が必要である。第2図のような操業を行つた結果この条件が満され、第2表の如く操業の末期には塩基度1.3の鉍滓が得られた。

第2表 操業中の鉍滓成分変化の一例

No.	経過時間(分)	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	T. Fe	MnO	S	CaO/SiO ₂	流動性(cm)
1	87	39.98	39.51	11.00	5.71	1.34	0.072	0.99	
2	147	38.88	41.82	11.34	4.21	1.32	0.102	1.08	17.1
3	149	38.80	43.40	12.30	2.34	1.29	0.195	1.12	18.2
4	179	35.40	47.70	11.10	2.79	1.27	0.167	1.25	19.1

なお鉍滓の流動性がよいことも脱硫には不可欠であるが、学振粘度計による測定によれば第2表の如く15cm以上あり、この条件も満されたものとみてよい。

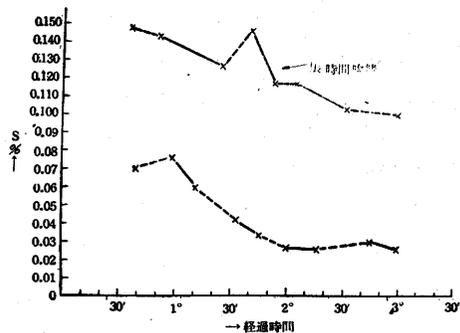
(ニ) 脱硫について……当初脱硫は吹精に伴う熔銑の攪拌運動によつて熔銑と鉍滓との接触の機会が多くなり、これが高温と相俟つて鉍滓反応を活発にすることによつて行われるものと考えていた。それ故長時間吹精法を採用し、20~30分或はそれ以上も吹精を続けたが、その結果は平均30%程度の脱硫が得られたにすぎず、然も寧ろ第4図の如く吹精と吹精の間において脱硫がすすむ傾向がみられた。これは長時間吹精によつて、(イ)鉍滓が多量に流出すること及び、(ロ)酸化性の炉内ガスが長時間鉍滓に接触し、(ハ)熔銑中のSi, Mnなどの還元剤がtr.近くまで低下し、(ニ)湯溜中コークスが少くなるなどの理由により、鉍滓中のFeOが増加する為であると考えられる。第3図はFeOの代りに鉍滓中全鉄分をとり、これと硫黄の鉍、滓への分配率との関係



第3図 硫黄分配比と鉍滓全鉄分との関係

を示したものであるが、これによつて鉍滓中FeOの増加が不利であることが知られた。

以上の理由により脱硫は吹精後一度酸化されたFeOが還元されてゆく次の吹精までの間に高温、強塩基性の鉍滓層を熔銑が滴下する際に行われるものと考えて、結局短時間吹精—長時間高温保持の方式を採用した。この結果第4図に示すように60~70%の脱硫を見るに至つたのである。



第4図 脱硫経過の例

4. 本法を熔鉍炉に応用する際の諸問題について

前述した所によつて、炉底特殊吹精による脱硫の促進は有効であることが証明された。然しこの方法を熔鉍炉に応用する為には次の諸問題を解決しなければならない。

(1) 炉内圧の高い熔鉍炉湯溜内に吹精パイプを安全且確実に挿入する装置—前述の実験ではパイプは下鼓式にあけた孔を通じて簡単に挿入され、又危険も殆んどなかつたが、炉内圧が高くなつた場合にはこの孔から銑鉄、鉍滓、コークス及びガスが噴出し、ただ単に危険があるだけでなく、湯溜部煉瓦積の厚さが大きくなれば(熔鉍炉の場合1m位)熔滓、銑鉄等が孔の途中で固まり、パイプの操作が不可能になる。従つて熔鉍炉においては炉内の液体、固体、ガスなどの吹き返しを防ぐ装置が必要である。

(2) 強塩基性鉍滓をつくる為の石灰石を炉頂から装入せず、直接湯溜附近に添加する装置—本実験では問題を簡単にする為、石灰石はすべて炉頂から装入したが、熔

鋳炉ではこの方法はさげなければならない。何となればもし石灰石を炉頂から過剰に装入した場合には、炉の上部において熔融点の高い強塩基性鋳滓が形成されるが、この鋳滓の流動性が悪い為、これが粘着剤となつて他の固体装入物を固めて降下せず、いわゆる棚吊りの現象(タイムハンギング)が起るからである。従つて差当り熔鋳炉通常羽口から衝風と共に羽口附近に石灰石粒又は石灰石粉を吹込む装置を考案する必要がある。

(3) 温度測定法の改良 一本実験では湯溜温度の測定は閉端カーボンパイプ—光高温計の方式で行つたが、この方法には次のような欠点がある。(イ)白熱したカーボンパイプ内に空気が流通する為、パイプ内面の酸化損耗が大きい。従つてこれを時々交換しなければならないが、熔鋳炉においてはこのパイプ交換作業は相当煩雑な仕事である。(ロ)測定者が絶えずついでなければならない。従つて次の二つの方向への改良が必要である。(A)カーボンパイプの損耗を防ぐこと、(B)カーボンパイプを使用し、又は使用せずに自動記録の可能な温度測定法を考案すること。

(4) 湯溜部煉瓦積の浸蝕を防止すること 一本実験においては(イ)鋳滓の塩基度が比較的小さい為湯溜壁煉瓦(シャモット)の浸蝕は大きくなく、(ロ)湯溜部の深さを通常的设计に比べて遙かに大きくしてあるため、パイプ尖端の位置が適当であれば炉底煉瓦の浸蝕も著しくなかつたので、この問題は無視することができた。然し熔鋳炉の場合には鋳滓塩基度を通常以上に高めると、湯溜壁の浸蝕が著しいから、湯溜部煉瓦としては鋳滓による浸蝕には最も強いカーボン煉瓦を使用することになる。この場合吹込まれた酸素が炉底煉瓦に直接接触すれば、カーボンの燃焼による損耗が著しくなると予想されるからこれを防がねばならない。この対策としては、(A)湯溜の深さを通常熔鋳炉よりも著しく大きくすること(これによる炉底の冷却は吹精による発熱で補うことができる)。(B)吹精パイプ尖端の位置を一定とし、且炉底に対する影響の最も少い位置並びに吹込条件(吹込ガス流速など)を決定すること。

これ等の諸問題を解決する為、筆者は昭和26~27年、八幡製鉄と協力して、公称能力3屯(1日)の試験熔鋳炉において試験を行つた。その結果熔鋳炉においては極めて短時間の吹精によつて長時間にわたつて高温度が保持され、従つてキューボラより遙かにすぐれた脱硫効果があるだけでなく、これが又「頭寒足熱」という熔鋳炉操業の根本原則にかなつたものであることが判明した。この傾向は大型炉程進まると考えられるから、高硫黄の粗

悪原料の使用による優良平炉鉄の製造に本法を工業的に応用するという当初の目的が実現可能であることが明らかになつた。一方前述の諸課題は次のように解決され又は解決の方向を把握した。(但しこの詳細については八幡製鉄との協定により共同発表ということになつていたのでここには傾向性を述べるにとどめる)。

(1) 吹精パイプ挿入装置が完成されて吹精作業が安全確實になつただけでなく、この装置によつてこれまで外部から手を加えることのできなかつた湯溜内の条件を、直接に安全且作業的に変えることが可能になつた。

(2) 石灰石吹込装置は当所桑井助教の協力を得て完成し、通常羽口からの石灰石の装入に成功し、(1)の装置と併せて湯溜内の反応の積極的促進の有効な手段となつた。

(3) 温度測定法の改良については未だ十分な成果をあげていないが、前述の(B)の方向において成功の見通しを得た。

(4) 湯溜部煉瓦積の保護についても未だ決定的な成果を得ていないが、前述の(A)と(B)とを併用することによつてこの課題を近い将来において解決できると確信している。

5. あとがき

以上炉底特殊吹精が脱珪、及びこれに伴う温度上昇並びに脱硫にとつて極めて有効な方法であること、これが大型熔鋳炉への適用の道がひらかれつつあることを述べた。然しこの吹精法の意義はただ単に脱珪、脱硫及び温度上昇にだけあるものではない。

もともとこの方法には「従来殆んど反応が行われぬか、又は極めて緩漫にしか行われず、又反応の条件を直接変えることができなかった湯溜部を、直接活潑な反応の場に変える」という重大な意義をもつていた。この意義はキューボラ及び熔鋳炉における実験で、吹精パイプの挿入装置、石灰石の吹込装置などがつくりだされたことによつて完全に現実的なものになつた。従つてこの方法が後には湯溜における脱珪、脱硫以外の目的(例えば他の有害元素の除去及び必要元素の補充)に利用されるようになったのはその当然の発展といわねばならない。すなわちこの方法の発生によつて熔鋳炉湯溜りは製鉄過程における一つの重要な精練の場に変つたとみるべきであろう。

擲筆するにあたり、この研究を今日まで進める上で、御協力、御教示をいただいた生研各部の関係者各位及び八幡製鉄に対し深く感謝する。(1953.8.20)