

論 文

熔鑛爐湯溜り吹精に関する試験報告

(昭和 29 年 4 月 本会講演大会にて講演)

金 森 九 郎*, 外**

SPECIAL PROCESS OF BESSEMERIZING THE BATH IN THE BLAST FURNACE

Kuro Kanamori, et alii.

In order to reduce the cost price of iron and steel, it is necessary to utilize fully natural resources in Japan and South-East Asia. First of all it must be prepared for the future to use the natural resources of iron, which contain sulphur in ever-increasing proportion. A special bessemerizing process was devised to blow air or oxygen directly into the hearth of the blast furnace.

As regards this method a joint research of Tokyo University and Yawata Iron & Steel Co. Ltd., was executed in 1951~52, using a 3ton test blast furnace of the Technical Institute of this Company.

Through these experiments the slant tuyer for bessemerizing was invented, and the heat-proof blowing pipe of high durability was born, thus a safe and practical method was found which we were able to use in this process. During these two years the following results were confirmed:

(1) Through a simple operation, i. e. by only one bessemerizing (5-10 minutes) between tap to tap, a pig-iron of high temperature, containing low Si, S and high Mn, could be obtained even if the burden contained high sulphur.

(2) In combination with the deeper hearth the tap interval could be prolonged considerably (from 2~3 hours to 6~8 hours).

(3) A good condition of the furnace that is "cold top and hot bottom" could be maintained. The top-gas temperature was lowered and the hearth was kept hot.

(4) Liquid pig and slag in the hearth could be extracted as samples for analysis at will, which made it possible to find the metal components before tapping.

(5) By special designed jet-feeder it became possible to blow lime, ferro-silicon and other additional refining materials directly into the bath through the slant tuyer.

(6) The components of the slag and metal in the bath could be controlled at will by using (4) and (5).

(7) Through this special bessemerizing and the invention of a method to lower the metal bath temperature by blowing water and inert gases directly into the hearth, it became possible for the smelter to keep the bath temperature at the most desirable condition to detect impurities in refining, and to discharge at the constant tap temperature.

In short, the special process of bessemerizing the bath in the blast furnace has made it possible to change the hearth which has been a dead space into an active one, and to make the most of bad natural resources containing high sulphur and other impurities. Still more, as a future prospect, it has made a step forward to the ideal blast furnace of "constant component, constant tapping temperature, and one to three taps a day".

I. 緒 論

戦時中ならびに終戦後を通じて、日本の製鉄界全般が直面した問題は、粗悪原料の使用にもとづく製鉄事情の悪化をどのようにして克服するかと云うことであつた。

* 東京大學生産技術研究所教授

** 助手 館 充, 中村千富
技術研究生 佐藤利雄, 相馬胤和, 前田一徳,
松瀬昭三, 和泉澤信

さらに、優良な原料をアメリカその他の国から輸入することができる現在でも、国内および東亜の資源を最大限に活用することは、鉄鋼原価を切下げる鍵であつて、これによつて、機械、造船等のもとより、その他一般工業の製品の価格を引き上げることができるのであり、輸出問題の解決、ひいては、わが国経済の安定にとつて緊急の課題である。

また、ベリ報告だけでなく、世界的に論ぜられているように、漸次、劣悪な、ことに硫黄の含有量の多い製鉄資源を使用しなければならなくなることは、必然でありしたがつて、資源問題の解決については、従来、各方面で、各種各様の研究がなされてきている。

当研究室でも、戦後の日本の発展方向として、資源問題の解決に「熔鋸炉々底特殊吹精法」を考案するにいたつたのであり、その試験研究を、ここ数年間おこなつてきた。

略して「特殊吹精法」と呼ばれる本方法は、熔鋸炉の湯溜り部へ酸素または酸素富化空気を吹込んで酸化精錬をおこない、湯溜り部を活潑な精錬の場に変え、かくして脱硫その他さまざまな機能を発揮させようとするものである。そもそも、資源的に見て貧困である日本においても、空気と石灰石には事欠かない。したがつて、日本は、これらを鉄鋼の精錬に十二分に活用すべきであり、特に、日本鋼管のトース製鋼法以外見るべきものなかつた吹精法をもつと転炉以外の精錬に活用すべきである。当研究室が特殊吹精法を発展させたのは、じつに、この点に着目したからであつた。最近、これまた無限でただ同然の水を精錬に使用することが着目されたのも、このような考えにもとづくものである。

さらに、特殊吹精法は空気の使用に製造酸素の使用を結合している。近年は、高純度酸素が、比較的安価大量に生産できるようになり、その結果、鉄鋼精錬に純酸素を利用することが盛んになつてきている。転炉の衝風に酸素を富化する方法、平炉や電気炉に利用するいわゆる「酸素製鋼法」、上吹き全酸素転炉吹精法、取鍋吹精法、さらに、高炉でもいまだ安全に実用化されるにはいたつていないが衝風中に酸素を富化する「酸素製鉄法」などが世界的に発展してきている。特殊吹精法はこの酸素吹精を高炉の湯溜り部に適用したのである。吹込みには「酸素製鋼法」でおこなわれているスチール・パイプでの吹込みが応用され、また「囲いこまれた転炉」(enclosed converter) とでも呼ぶことのできる有利な条件、すなわち上を装入物で支えられていることによる飛散損失の減少、廃ガスの利用や強還元性雰囲気により鉄の酸化損失

が少いことなどにより、酸素吹精が転炉、取鍋吹精にくらべ無駄なくおこなわれる利点があるのである。

第1表 キュボラにおける吹精実験結果

試験爐	キュボラ (容量 150kg/hr)								
操業條件	送風壓	170mmAg							
	送風量	7m ³ /min							
	装入量	1回につき	<table border="0"> <tr> <td>鉄</td> <td>10kg</td> </tr> <tr> <td>コークス</td> <td>3.5kg</td> </tr> <tr> <td>石灰石</td> <td>4kg</td> </tr> </table>	鉄	10kg	コークス	3.5kg	石灰石	4kg
鉄	10kg								
コークス	3.5kg								
石灰石	4kg								
吹精條件	吹込壓	1.5kg/cm ²							
	吹込量	1.0m ³ /min							
	酸素濃度	40% O ₂							
	鹽基度	1.2 前後							
	保定温度	1400~1500°C							
結果	脱硫率	約 70%							
	脱珪	Tr まで可能							
	パイプ消耗量	約 270mm/min							

II. 経 過

特殊吹精法は湯溜り部の温度上昇、脱硫を目的として昭和 24 年、同 25 年の 2 年間、東京大学生産技術研究所で、小型熔鋸炉 (キュボラ) によつて中間工業化試験がおこなわれた。これについては、昭和 25 年秋季鉄鋼協会大会で発表された。(実験結果は第 1 表参照)。席上つぎのことが強調された。

「従来、キュボラでは脱硫は不可能とされていたが、第 1 表のとおり、70% の脱硫を得ている。したがつて、キュボラより高温、高塩基性であり、また強還元性雰囲気である高炉湯溜りにこの方法を適用すれば、湯溜り部はたんなる熔鋸の貯蔵場から、新に活潑な反応の場に転換することができ、従来の高炉操業では処理困難であつた粗悪原料を用いて、低硫・低珪素の優秀なる高温平炉鉄を容易に得る可能性がある」

これにたいし、列席していた当時の八幡製鉄技師長故小平勇氏よりつぎの発言があつた。

「自分は鉄鋼視察団の団長として今回米国製鉄界を視察してきた。しかし、この方法は、どこでも見なかつた。ぜひ、かかる研究を一日も早く、中間試験でなく熔鋸炉で実験してみたい」

同氏のこの発言がきっかけとなり、八幡製鉄の厚意により、八幡製鉄と東大生研との共同実験がおこなわれることになり、昭和 26 年、同 27 年の 2 年間にわたり、八幡技研 3 融試験高炉で実地試験が実施された。以下この 2 年間の経過を簡単にのべるとつぎのとおりである。

昭和 26 年度：4 月、八幡三鬼社長以下、東大瀬藤所長以下出席して公式打合せがおこなわれ、実験要綱がき

められた。6月および7月の2ヶ月間で高炉築造と附属設備の準備が完了した(設計東大責任, 築炉八幡責任), 8月1日よりブランク・テスト開始。しかるに炉床をシャモット煉瓦で築いたこの炉は約1ヶ月後, 炉底がやぶれて実験を中止せざるを得なくなつた。このとき, 一部に試験的に使用したカーボン煉瓦が優秀な成績を示したので, 今後は炉床にこれを使用することとし, 炉体を改築して9月27日ふたたび火入れをおこない, 同日より10月31日まで炉況安定操業を実施し, 特殊吹精のブランクテストをおこない, 11月1日より本格的特殊吹精試験に入り, 12月15日に試験を終了した。12月22日八幡技研にて成果の発表会があり, 26年度試験成果としてつぎの諸点があげられた。

- (1) 安全操業の確立(斜め吹精羽口の考案)
- (2) 脱硫率 99.8% 確認(最低 0.008% S)
- (3) 湯溜りの温度上昇好調(100°C 上昇に O₂ 18m³/ton pig)
- (4) 出銃間隔 6~8 時間に延長(従来は2時間ごと出銃)
- (5) Mn 歩留向上(75%以上, 従来は50%)
- (6) 炉内(湯溜り部) 試料採取に成功

昭和27年度: 1月より6月まで東大生研にて基礎研究がおこなわれ, この間, 故桑井助教授の考案によるジェット式粉体吹込み装置が完成した。7月1日八幡小平技師長以下, 東大金森以下出席のもとに現地打合せがおこなわれ, つぎの試験計画がきめられた。

- (1) 炉況悪化の場合に急速にこれを回復することを目的とする昇熱操業法(八幡責任)
- (2) 吹精による銑鉄中の成分, とくに珪素のバラツキを是正することを目的とした熔銑成分完全調整法(東大八幡共同責任)
- (3) 含ニッケル・クロム・鉍石処理を目的とした熔銑中の脱クロム試験(東大責任)

共同研究の実験が開始されたのは9月5日であつた。しかるに, 10月1日試験炉不調のため実験中止, 改築と決定, そのため, 10月17日にはじめて本格的試験が再開された。それより12月5日まで50日間昇熱試験と成分完全調整法の試験を実施終了し, 12月6日より脱クロム試験に移つた。これより先, 11月27日, 炉況の変調を認めた東大がわは, 一旦吹降して炉内を点検することを要望したが, 試験期間の都合によりそのまま続行することになつたものである。それより20日間, 脱クロム試験が実施され, 脱クロム率最高90%に功成。また, 不活性ガスまたは霧状の水を吹込んで熔銑の

温度を冷却する方法を考えだして, 脱クロムの必要条件を生みだしたが, 12月25日, 炉底破れて実験続行不可能となり, 試験中止, 炉内点検の結果, 炉底煉瓦が崩壊しており, 東大がわがさきに11月27日申入れた経緯にかんがみ炉底がひじょうに荒れていたと考えられる。このため今回の実験はひじょうな悪条件のもとで行われ, 困難をきわめたことを附記する。

以上兩年度にわたる共同実験を終り, 昭和28年10月八幡がわ渡辺社長, 島村常務, 湯川技師長以下, 東大がわ瀬藤前所長, 兼重所長, 金森以下出席のもとに, 公式打合せおよび成果発表があつた。昇熱操業と完全調整法については八幡, 脱クロムについては東大がわより成果の発表があり, 席上, 東大がわより未解決の問題を解決するための実験続行と特殊吹精法の大形高炉にたいする作業化について意見が述べられた。ついで, 昭和29年4月3日, 鉄鋼協会春季大会において, 脱クロム試験をのぞく共同研究の成果が発表された。経過一中根, 設備一相馬, 結果一佐藤, 結論一館がそれぞれ報告し, 昇熱試験と成分調整法については八幡が発表した。以下, 本試験報告は八幡発表のもの脱クロム試験をのぞいたものであり, これらについては必要な限度で言及するにとどめた。第2表は兩年度の試験経過概略である。

第2表 (イ) 昭和26年度 試験経過概略

6月1日~7月31日	準備期間
8月1日~9月4日	ブランクテスト期間
9月5日~9月26日	爐體改築期間
9月27日~10月31日	爐況安定期間
11月1日~12月15日	吹精實驗期間

(ロ) 昭和27年度 試験経過概略

10月17日~10月31日	ブランクテスト期間
11月1日~11月10日	昇熱操業法
11月11日~12月5日	熔銑成分完全調整法
12月6日~12月26日	含クロム・鉍石處理操業

III. 設 備

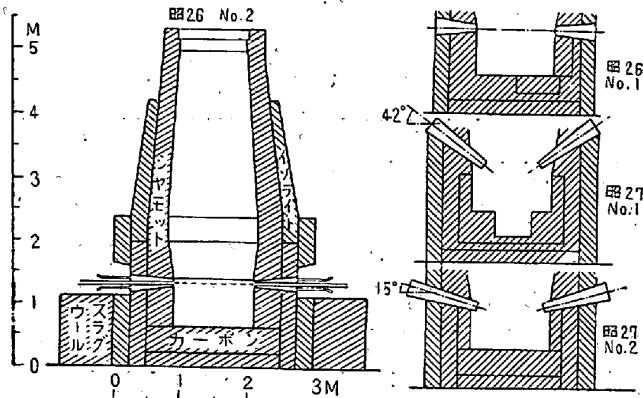
特殊吹精実験の設備には, 大別すると, 本来の高炉設備と吹精のための設備とがあり, 後者に重点をおいて説明する。

1. 高爐設備

高炉本体は第1図のように全高4m700, 湯溜り径1m170, 湯溜りの深さは吹精実験のために従来より200mm(35%)深くし, 790mmとした。炉体は26年度に2回, 27年度に2回, 計4回築炉した。

第一次設計炉(26年度 no. 1): 湯溜りはシャモット煉

瓦で築き、一部に試験的にカーボン煉瓦を使つたが、わずか1ヶ月で吹精をほとんどしないのにシャモット煉瓦はひじょうに侵蝕され、これに反し、カーボン煉瓦は完全に残つていたので、以後はすべてカーボン煉瓦積みとすることになつた。



第1圖 高 爐 本 體

第二次設計炉 (同 no. 2): 炉底、炉壁ともに400mmのカーボン煉瓦積み、3ヶ月の使用後、羽口下部と吹精管突込み過ぎによる炉底掘れのほかは、ほとんど侵蝕なし。

第三次設計炉 (27年度 no. 1): 設計の不良のため冷えて使用できず、1ヶ月で中止。

第四次設計炉 (同年 no. 2): 炉壁を厚さ 200mm の小型カーボン煉瓦積みとしたほか、第二次炉に同じ。小型煉瓦を積んだために炉壁が途中で崩れてしまい、炉底煉瓦が浮きあがり、3ヶ月の使用後、炉内を点検したところ、ひどい炉底荒れを示していた。

以上の経験から湯溜り部の築造にかんしてつぎの結論を得た。

(1) カーボン煉瓦は高熱、侵蝕にひじょうに強い。

(2) カーボン煉瓦メジが未完成で、浮上り、メジの部に熔鉄が浸入する危険がある。無メジ摺り合せにするか噛み合せ異型煉瓦を使用する必要を認む

(3) カーボン煉瓦は熱伝導が良好であるから、その外部をシャモットおよび断熱煉瓦積みとし、保熱の必要がある。

(4) 羽口下部のカーボン煉瓦の酸化侵蝕を避けるため27年度は水平距離において羽口を炉壁から100ないし200mm 突出させたが、成績良好である。

2. 高爐付屬設備

(1) 炉頂金物はダブルコーンとす

(2) 送風設備: ルーツ式 (毎分 50 m³, 水銀柱 500 mm) 送風量 18m³/min.

(3) 熱風炉: カウパー式 3 基, 送風温度 500°C

(4) 計 器: 送风量, 各羽口の熱風流量, 送風と炉頂ガスの圧力, 熱風炉の出口温度と廃ガス温度, 熱風温度, 炉頂ガス温度, 炉底湯溜り部温度が測定され, 自動検尺計をつけた。

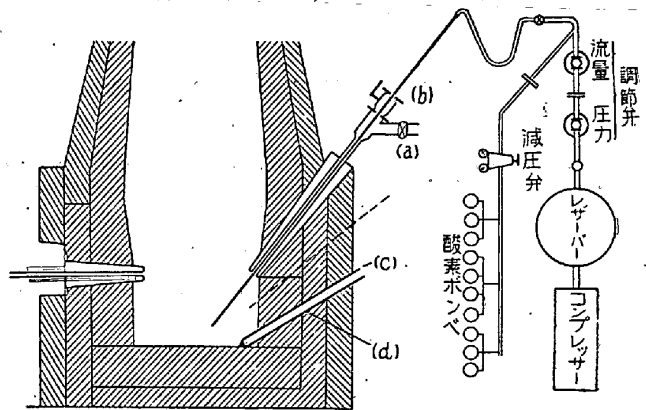
3. 吹精用設備

(1) 吹精用送風設備

コンプレッサーは常用毎分 3m³・5 気圧のものを使用し, 圧力自動調節装置で圧力を 4~5 気圧に調整できるようにし, 酸素はポンペ 10 本から減圧装置をとおし, 4~5 気圧として空気と混合した。だいたい, 全期間を通じ, 酸素 40~60%, 毎分 3m³ として使用, 圧力はバルブ前で 4.5 気圧ぐらいであつた。

(2). 吹精羽口

昭和 26 年度前期は第 2 図の点線にそつて炉壁に穴をあけて吹精したが, 炉内ガスや赤熱コークス, 熔滓などが噴出し, 危険で作業は困難をきわめた。26年度後期からは第 2 図のように約 50° に傾斜した斜め吹精羽口が案



第2圖 吹精羽口・測温管

出され, 取付けられるにいたり, 通常は送風せず, 吹精するときは熱風をおくつて炉内のガスなどの噴出するのを抑え, かくして安全かつ容易に吹精パイプを出し入れすることができるようになった。

吹精方法を説明すると, まず (a) のユックを開き, 強風をおくり, つぎに (b) のフタを開き, 酸素富化空気弁より約10mのゴムエアホースでつながれた 8~10m の 1/2 インチガス管に空気だけを出しながら, この管を炉内に入れ, 湯面に先端が達したときに, 酸素を所定のものに富化して本格的吹精に入る。吹精パイプ先端の熔落につれてパイプを送り込み, 炉内温度が上昇して所定温度に達したら, 酸素を切り, パイプを抜きだして羽口のフタをしめ, 熱風弁を閉じる。

(3) 炉床湯溜り部の温度測定装置

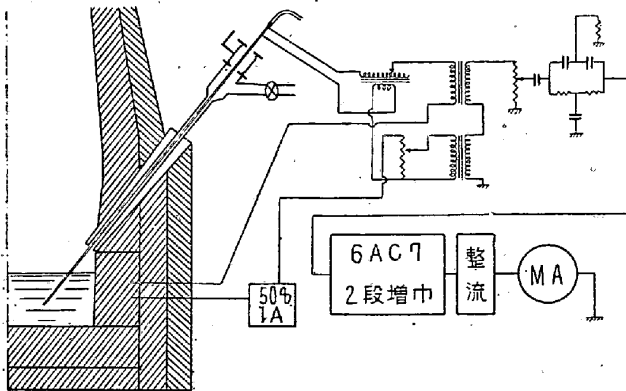
この特殊吹精をおこなうには, 常に湯溜り温度を監視し

ながら行う必要がある。このため、第2図(c)のように先端のつまつたカーボンパイプを斜めに炉床内にさし込んで、光高温計で測定した。これでだいたいうまくいくが、カーボンパイプの焼成による質の変化により、1400°~1500°Cぐらいになると、フェームの出るものがあり、測定に困難を来したことがあつた。このような場合は、カーボンパイプ中に細い鉄管を入れ、サクションポンプでフェームを引いて測定した。なお輻射高温計も使用したが、距離係数が大きいことと、フェーム、蒸気が測定体に附着することなどのために、失敗した。またカーボンパイプ中にムライトの保護管を入れ、そのなかに白金-白金ロジウム熱電対を入れて使用してみたが二日ほどで切れてしまい、連続測定はできなかつた。

カーボンパイプは先端はほとんど侵蝕されないのであるが、第2図(d)の部分が1週間ほどで外部空気の流通により酸化消耗し折れそうになるので、10日前後で取りかえた。取りかえ時間は約30分で、この間休風した。

(4) 吹精パイプ先端位置判定装置と不溶性パイプ

パイプの先端が熔滓中にあるか、熔銑中にあるかの判定は吹精効率と炉底保護のためにぜひとも必要であつた。このため、吹精用パイプと湯溜り部中の熔銑間の電気抵抗の変化により判定しようと考え、第3図のような



第3図 吹精管先端位置判定装置

装置を、生研星合、糸川両教授の協力を得て考案した。原理はパイプを通し炉床に電流を流し、パイプと炉床間の電圧を増巾して直続式とした。しかし、炉内の赤熱ベッドコークスが湯溜りにディップしているため電気抵抗がひじょうに小さく、かつこの間に化学的起電力が生ずるため測定はあまりうまくいかなかつた。このため、パイプの突込みすぎを生じ、炉底にかなり深く穴をあけた。

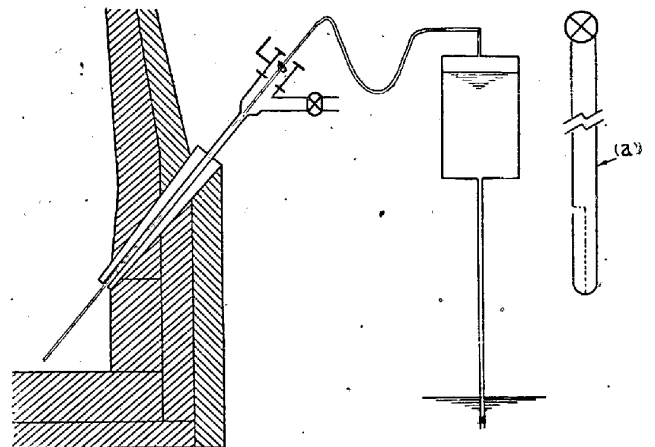
27年には、鋼管のかわりに、カーボンパイプ中にカーボンランダムパイプを入れた不溶性吹精パイプが考案された結果、約1時間の吹精に堪えた。しかし、まだ強度の点で問題がある。判定装置と不溶性パイプの完成は安

全操業のため、今一段の研究の必要がある。

(5) 湯溜り部試料採取装置

26年度の試験末に、吹精斜め羽口を通してパイプを湯のなかに差し込み、吹精のときとは逆に water suction によりパイプ内を負圧にし、銑鉄と熔滓の試料を随時吸上げる方法を考案した。(第4図参照)。試料を採取したら、これを炉外に取りだし、冷却してパイプカッターで切断し、ハンマーで内部の附着試料をたたきだす。しかし、熔銑の温度があまり高いようなときには、吸上げ試料は中心部のものが流れ出してタケノコ状の中空試料になる欠陥があつた。

27年度には第4図(a)のようにパイプの先端をつめ下端より約100mmのところのところに穴をあけ、点線のように切断後溶接しておき、これを炉内に入れて湯を汲みだし、冷してからハンマーで叩くと、溶接箇所がこわれて試料が出てくる。然しこの方法も吹精温度が高いときはノロが入つき易すかつた。



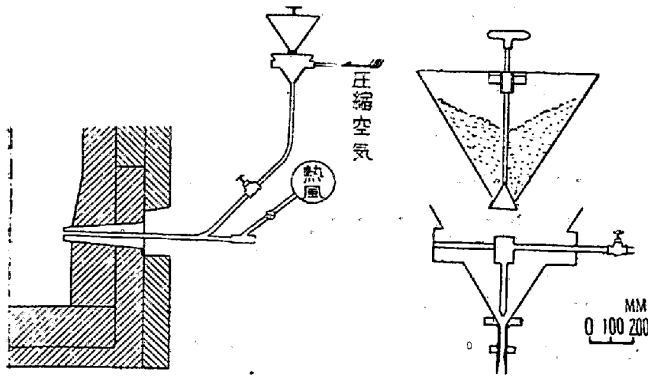
第4図 試料採取装置

(6) 羽口よりの粉体差し物の湯溜りへの吹込装置:

羽口よりの粉石灰などの吹込試験について、26年度にはスクルーコンベヤー付きインジェクターを製作したが、好結果は得られなかつた。

昭和27年度前半、東大生研故桑井助教授の協力により、第5図のようなジェット式フィーダーの予備試験完了し、八幡における同年度の共同研究に使用した結果、好成績をおさめた(粉体粒度2~5mm径)。なお、これを用いて石灰だけでなく粉コークスなども羽口から装入できる。

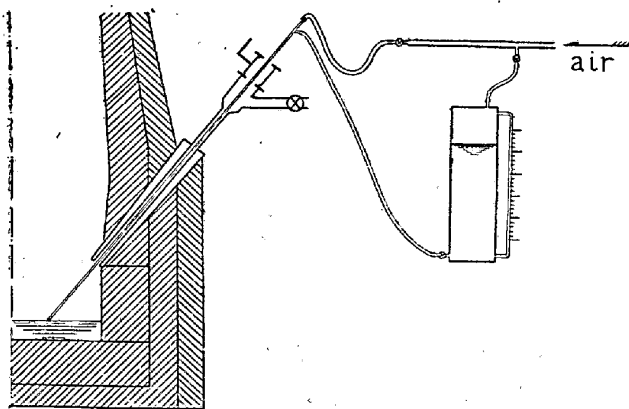
またこの方法を斜め吹精羽口をとおして行う場合には湯溜り部の熔銑のなかに直接差し物の可能性を生じて熔銑成分調整に活用でき、あるいは、カリング法の理論により焼石灰その他の脱硫剤の吹込みによる急速脱硫の可能性が生じた。



第5圖 石灰吹込装置

(7) 水の吹込みによる炉床温度降下装置

従来の特殊吹精法は温度上昇一辺倒であつたが、温度を低下させ低温で吹精する必要（特に脱 Cr に）から、あるいは温度上昇を抑制して酸化するための方法として、炭酸ガス、窒素などの不活性ガス吹込みの実験がおこなわれ、さらに発展して、安価かつ容易な方法として第6図のような方法で、適当量の水を霧状にしてガス中にのせて炉内に吹込むことに成功するにいたつた。このさい、毎分 3m³ ぐらいの空気に水 1l 程度を混入すると、なんら爆発の危険がないばかりか、その冷却効果は前記の不活性ガスの冷却にくらべ、遜色がないばかりか、吹精パイプがぜんぜん消耗しないと云う利点がある。



第6圖 水の吹込装置

IV. 昭和 26 年度試験結果

昭和 26 年度の実験にかんする高炉操業条件、使用原料、吹精条件は第3表のとおりである。硫黄源としては群馬鉱石を使用し、これをホソコシ鉱石と適当に配合した。吹精は酸素濃度を 50~60% とし、1分間 3m³ の割合で、出銑と出銑のあいだに1回ないし2回おこなう。1回5分ないし10分の吹精によつて炉床温度を所定の温度 (1500°C) に上昇させ、こうして炉床湯溜り部を高温に保持する。銑滓を強塩基性とするため石灰石の配合

第3表 原料、高爐操業條件、吹精條件

	T. Fe	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn
香港	43.28	0.045	12.68	1.77	3.83	10.04	0.40
鐵石	49.61	2.235	3.43	2.04	0.58	0.35	—
群馬	7.29	0.492	37.44	4.37	3.85	1.24	19.27
Mn	0.20	0.001	0.34	0.28	55.08	0.56	0.10
石灰石							
	灰分	揮發分	固定炭素	燃燒性 S	非 S	T.S	潰裂強度
コークス	16.31	1.65	82.05	0.601	0.085	0.686	94.14
	温度	風流	風	流	風	歴	
送風	500°C	18m ³ /min	0.15kg/m ²				
	O ₂ 濃度	流量	歴	力			
吹精	50%	3m ³ /min	4kg/cm ²				

を著しく増し、吹精によつて得られる高温によつて強塩基性銑滓の流動性を良好ならしめて脱硫を促進し優良な銑鉄を得ようとした。吹精後出銑までの時間が長いほうが脱硫のためには望ましいのであるが、熔銑の量が多すぎると炉底を損傷する恐れがあるので、吹精は出銑から出銑までの中頃におこなつた。

つぎに各実験期について、最後に全実験を通じて総合的にのべる。

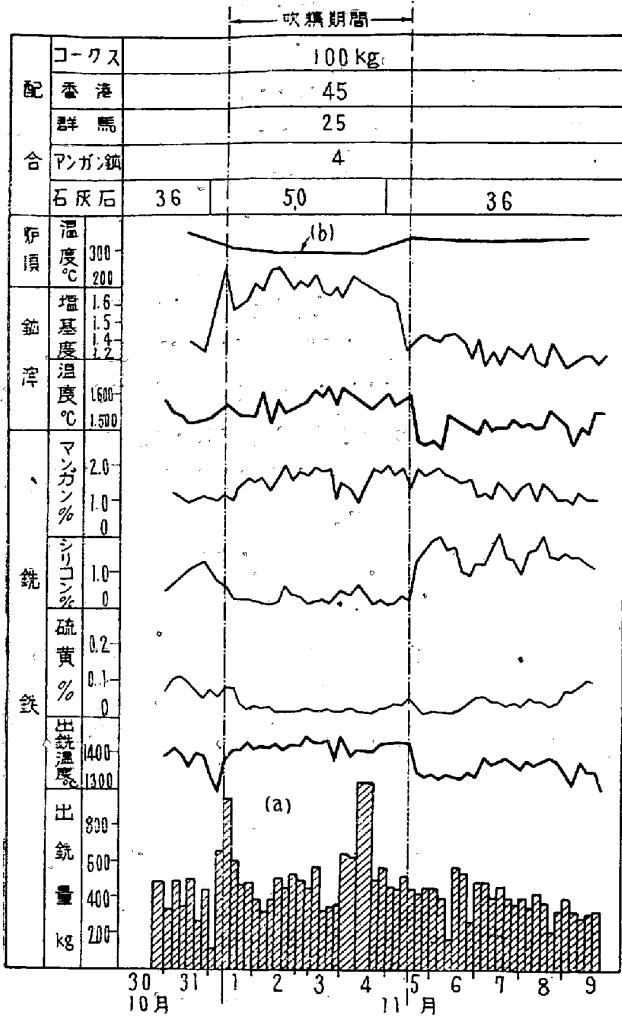
1. 第1期 (8. 9. 10月)

この間はプランクテストだけで、本格的吹精はおこなわなかつた。ところが、吹精後、1兩日は炉況良好で低硫銑が得られた。これは湯溜り部が深くなつたため、熔滓の層が厚くなり、湯溜り部に吹精による熱が貯えられて高温になり、かつ銑滓層が厚くなつたためと考えられ、われわれはこの現象を「after effect」と呼んだ。

2. 第2期 (11月1日~11月5日)

最初の本格的な昼夜連続吹精期間であり、昼も夜も出銑と出銑のあいだに吹精を実施した。第7図はその結果を示したものである。この期は炉床温度 1400°C~1500°C を保持し、銑滓塩基度 1.6 を目標とした。

吹精前日までの高炉の炉況はきわめて悪く、平均出銑成分は Si 1%, S 0.09% であり、床上市のため出滓口より熔銑が流出する状況であつた。吹精開始とともに急速に炉況が好転し、24時間内に S 0.02% になり、その後は 0.01% 合に低下した。出銑間隔4時間つあいだに1回の吹精を 5~10分行えば、1400°C~1500°C の炉温床



第7圖 第2期 (11月1~11日5日) の試験結果

度保持が可能であり、脱硫率は普通操業の最高 98.5% にたいし 99.5% を示した。

Mn 歩留は普通操業の 50% を上廻つた。

第7図 (a) のように、吹精開始直後、一時的に出鉄量が増加しているのは、湯溜り部の付着物 (ベア) が吹精による温度上昇のために溶けて出たためと思われる。

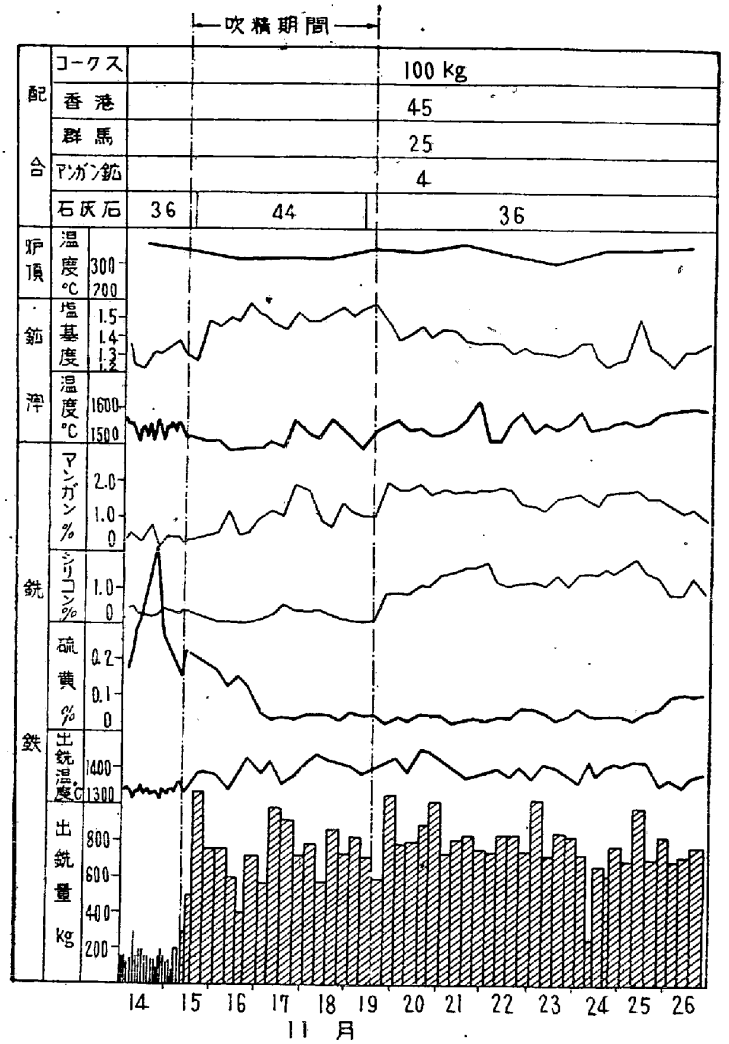
吹精試験期間中は炉頂ガス温度も普通操業中より 50°C 低下している (第7図 (b) 参照)。

吹精試験期間の終了後、炉壁の漏風事故が生じたために、一兩日後は前記の after effect の現象は見られなかつた。

3. 第3期 (11月15日~19日)

此の期間は出鉄間隔を6時間とし、鉍滓の塩基度は 1.5 を目標とし、昼夜連続で吹精を実施した。第8図はその成績である。

吹精期間に入る前の炉況はきわめて悪く、床上りのために約1時間半ごとに吹鉄を繰り返さなければならず、出鉄成分も Si 0.3%, S 0.2%, Mn 0.4% と極端に悪



第8圖 第3期 (11月15日~19日) の試験結果

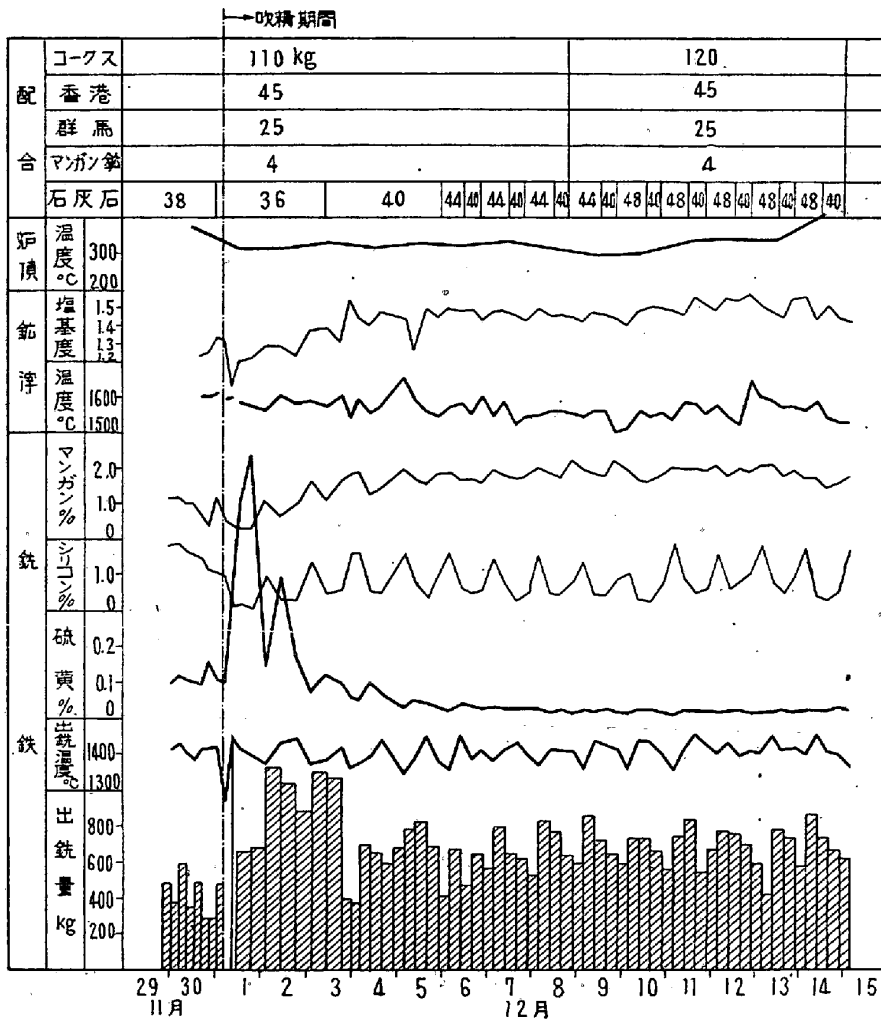
化していた。吹精期間に入り、吹精をおこなつても、所定の炉内温度になかなか上昇せず、やむを得ず、段階的に目標温度をあげて行つたので、完全に炉況を安定させるのに 40 時間を要した。しかし、その後は出鉄間隔を 1.5 時間から 6 時間に延長することができ、なお、それまで出滓時に出滓口から熔滓に混入して熔鉄が出てくるような状況がすっかりなくなり、操業はひじょうに楽になつた。

以上のような事情があつたため、この期間には、S も 0.04% 台まで低下したに過ぎず、脱硫率は 99.0% であつた。Mn 歩留もまた平均 50% であつた。

しかし、吹精期間終了後も、5 日間ぐらひは S 0.04~0.05%, Mn 1.5~1.9%, Si 1% と云う状態が続き、出鉄間隔も 6 時間が維持され、いわゆる after effect が完全に確証された。

4. 第4期 (12月1日~14日)

この成績は第9図に示す。前記の試験により、after effect を確認したので、今期は昼間だけ吹精をおこない



第9圖 第4期(12月1日~14日)の試験結果

夜間は普通操業(1回出鉄)とした。したがって、第9図に見られるように、夜間の出鉄のみは出鉄温度も低くかつ Si の含有量も上昇しているのであるが、しかし、S は after effect 現象によつて低くなつてゐるのである。なお、この期間は鉄滓塩基度が脱硫におよぼす影響を調べるために、石灰石の装入を 36, 40, 44, 48, の四段階に変え、夜間だけは吹精しないので装入量を適当量下げた。

最初の 1, 2, 3 日間は塩基度を 1.2 にして操業したが、脱硫率 97% で、S 含有量もひじよりに高い。もちろん、この間は、吹精試験開始前に炉底に付着していた高 S のベア-が吹精によつて溶解し混入したことも関係があるが、塩基度が低きに失したことに原因があると思われる。

4, 5 の 2 日間は塩基度を 1.4 にあげて操業、脱硫率 98.7%, 銑鉄中の S 0.05% 前後であつた。

6 ~ 9 日の間は、さらに塩基度を 1.47 にしたところ脱硫率 99.4%, 銑鉄中の S 0.02% 合に安定した。

10~14日は塩基度を 1.53 まであげ、脱硫率 99.7%, 銑鉄中の S は 0.01% 合になつたほか、Mn 歩留も 70%に向上し、銑鉄中の Mn は 2% 前後になつた。

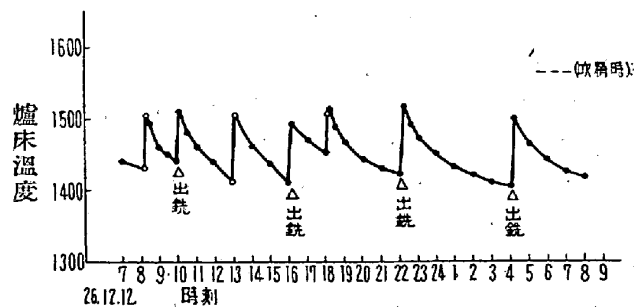
また、この全期間を通じて、炉頂ガス温度は通常操業時に比較して約 50°C 低下したことは、前2回の昼夜連続吹精期間と同じであつた。

以上によつて各期間のそれぞれについて考察したが、つぎに 26 年度吹精実験全般にわたる総合的考察をのべる。

1. 温度上昇

第 10 図に炉床温度変化の 1 例を示した(1回吹精時間 5~10分)。

吹精による温度上昇速度は熱源となる銑鉄中の Si, Mn の多少、吹精技術などによつて異なるが、平均 15°C/min で、吹精後の冷却速度は平均 0.44°C/min であつた。出鉄温度は通常操業時の 1330°~1400°C にたいし 1380°~1450°C で、約 50°C の上昇を示した。酸素の所要量は平均 18m³/ton pig であつた。



第 10 図 爐床温度變化(26.12.12)

2. 銑鉄中の各成分

(1) Si

吹精により Si は燃焼するので、吹込酸素量の変化によりどのようにでも下げられる。平均して 1% の Si を除去するのに 17m³/ton pig を要した。

(2) Mn

吹精により Si と同じように酸化され、したがつて、出鉄時の Mn は普通操業の場合よりも低くなるだろうと予想されたが、逆に、一般に 0.5% ぐらい高くなつ

ている。これは湯溜り部の温度の上昇により、原料中の Mn 歩留が上昇したこと、吹精により一度酸化した MnO も高塩基性と灼熱ベッドコークスにより速に還元されるためと思われる。

(3) C

炉床温度が高いため、出銑中の C は、普通操業時の約 8.5% C にたいし、吹精後は 10% ほど上昇し、4% 前後であった。

(4) S

吹精期間および after effect 期間中は銑鉄中の S はひじょうに低く、0.01~0.02% 程度のものが容易に得られた。しかし、このためには、熔滓の塩基度を 1.5 前後の高塩基度にしなければならない。そして、高塩基操業を行うには吹精は欠くことが出来ないのである。脱硫率も通常操業時の最高 98.5% にたいし、99.7% まで上昇した。

(5) P

吹精によつて変化しない。このことは、この方法がトーマス銑の製造に最適であることを約束するものだと思う。

(6) O₂ または N₂ などのガス

これは操業面から考えても判るように、転炉のように 10 数分間連続に吹精するのでなく、数時間中にわずか数分の吹精をおこなうだけであるから、問題とするにはあたらない。

3. 鑄滓について

銑滓は前記のように CaO/SiO₂ が 1.5 前後の高塩基性であり、最高 1.7 程度までの操業をおこなつたが、流動性すぶる良好で、炉況が悪化して熔滓と熔銑の分離が悪くなり出滓時に相当の熔銑をまきこんでいるような場合でも、わずか数分の吹精で両者の分離が良くなりサラサラした熔滓を造り得た。

なお、熔滓中の FeO は普通操業時の 0.5% より減じ、吹精時は 0.3~0.4% 程度である。吹精直後はとうぜん増加するにもかかわらず、このように減少するのは吹精により炉床が高熱になるためと灼熱ベッドコークスにより急速に還元されるためと考えられる。

4. 爐況におよぼす吹精の影響

吹精はいちじるしく炉況を改善した。すなわち炉床温度は常に高温に保持できるだけでなく、炉頂ガス温度も通常操業時より約 50°C 低下した。普通、この種の小型高炉では炉床冷えのため 2 時間ぐらいの出銑間隔があるが、大型高炉の出銑間隔の倍、つまり 8 時間間隔の出銑も可能となり、作業員の労力をいちじるしく軽減し

た。また、相当量の石灰装入による高塩基操業をしたにもかかわらず、ライムセツトなどの故障は一回もなかつた。

5. 吹精パイプの消耗量

空気、酸素混合ガス流量、O₂ 濃度、温度などにより吹精パイプの消耗量は異なるが、平均 800mm/min であつた。

V. 昭和 27 年度試験結果

昭和 26 年度の試験成績を基準としておこなつたこの年の試験は前年度の成果を確認したほか、さらに一步進んで、急速炉況回復にかんする昇熱試験、熔銑成分の完全調整試験に発展した。これらにかんしては入幡製鉄より発表される。さらに、含 Ni-Cr 鉍石の脱クロム試験が行われたのであるが、まだ発表の時期ではないのでつぎの機会にゆずる。

VI. 結 論

延べ 2 年間の研究の成果を総括するとつぎのとおりである。

1. 高温低 Si・低 S・高 Mn 銑の製造可能

特殊吹精により湯溜り部を高温にし、銑滓を強塩基性にするこゝによつて、上記の優良銑鉄をつくりうることが明らかとなり、また脱 P されないから、トーマス銑の製造にも適し、しかも、吹精は出銑から出銑のあいだに 1 回、わずか数分間おこなえばよく、酸素の所要量は銑鉄 1 噸あたり 15m³ の少量で足りる。

2. 頭寒足熱作業の確立

この 3t 試験高炉は普通操業では出銑間隔がひじょうに短かいが、この湯溜り吹精をおこなうことにより、湯溜り部を従来よりも 35% 深くでき出銑間隔を従来より 3~4 倍に延長でき、6 時間出銑、8 時間出銑が可能となつた。さらに湯溜り部は 6~8 時間中にわずか数分間、酸素富化空気で吹精するだけで 100°C 上昇、出銑温度が従来よりも 50~100°C (1400°→1450) 上昇した。一方、炉頂ガス温度は従来より約 50°C (400°→350°C) 低下し、炉況はいちじるしく改善され、かくして、高炉操業の理想である「頭寒足熱」を実現するとともに、従来より低シャフトの熔銑炉の可能性を示した。さらに、高炉操業で炉床が冷えて床上がりしているような場合でも随時この特殊吹精を適用すれば、簡単にベアーを溶かして、いわゆる「クリーン・ハース」にすることができ、また熱源が極端に不足する特殊の場合にはこれを添加し

て吹精をおこなえばよい。

3. 斜め吹精羽口の考案

この考案によつて、吹精パイプの湯溜りへの挿入、引き出しを安全かつ確実に行うことができるようになり、吹精作業が実際化されるにいたつた。それだけでなく、この斜め羽口によつて湯溜り試料の随時採取法が誕生した。

4. 不溶性吹精パイプの誕生

カーボンテコランダムの不溶性パイプが誕生し、安全操業の点で一步を進めた。パイプが溶けずに十数分の吹精に耐えることにより、一度これを一定位置に挿入した後は動かす必要がなく、突込みすぎて炉底を損傷する危険がない。ただし、機械的に弱いことが欠点である。

5. 粉体吹込みのジェット式フィーダーの完成

東大生研故桑井助教授の発明になるこの装置により、鉍滓の塩基度を短期間に自由に調整できるだけでなく、Fe-Si, Fe-Mn, Al, Ca-Siなどの湯溜り熔銑中への差し物または脱硫剤の直接吹込みができるようになり、脱硫についても一段の進歩を示した。

6. 熔銑成分の完全調整法の確立

ジェット式フィーダーによる熱源または差し物の湯溜り装入と湯溜り部試料採取およびその迅速分析を酸素吹込みと結合させることによつて、熔銑成分を所望のものにすることができるようになった。

7. 熔銑温度の低下法の確立

非酸化性ガスおよび霧状の水を吹込んで熔銑温度を低下させ、またはその上昇を抑制する方法が考えだされた。特に水を使用する場合も爆発の危険がないことが明らかになった。こうして、従来温度上昇一辺倒であつた特殊吹精に新生面を切り拓いただけでなく、水を吹き込むときは吹精スチールパイプが全然消耗しないことが判明し、不溶性パイプへの新しい手がかりとなつている。この温度低下法によつて、たとえば、湯溜り部の温度を積極的に降下させて酸化させるとか、温度の上昇を抑制するとか、温度を一定に保持して恒温で吹精すると云うようなことが可能になった。もちろん、これが炉況一般におよぼす影響、たとえば水が炉内で分解して酸素と水素になつて上昇した場合、それが還元帯などの反応にどういう影響をおよぼすかなどは今後の研究課題である。

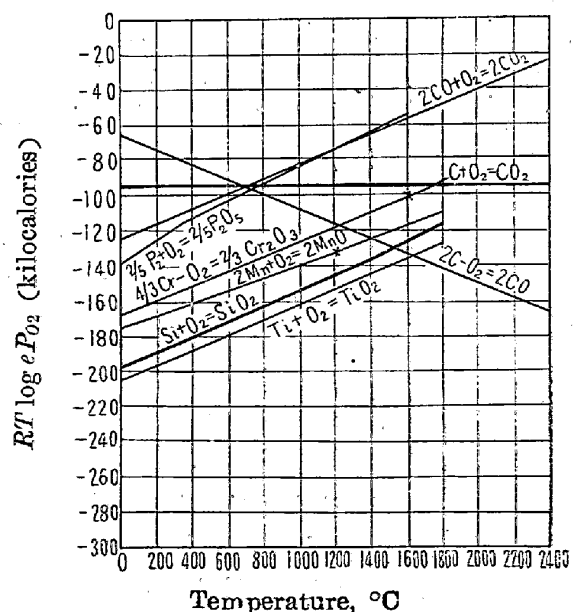
8. 炉底保護策

パイプ先端位置の判定装置の未完成から炉底を損傷する危険がある。この危険防止の根本策については未解決のまま残されたが、湯溜り部を思い切つて深くすること

と、不溶性パイプの発展および判定装置の今後の研究によつて解決は可能である。なお、不溶性パイプについては、霧状の水で冷却する特殊スチールパイプが考案研究されており、その先端をジェットにして熔滓層から高圧で吹精することによつてパイプの不溶化と炉底損傷の防止とを同時に解決できる見透しをも得ている。

以上、26年度、27年度の研究成果を総括すると、特殊吹精法は炉底保護の問題を除いては、だいたいに於いて工業化の条件が整つたと云うことができるのであり、しかも、以上の諸成果から明らかのように、湯溜り温度上昇、脱硫を目的として発足した湯溜り吹精法は、この目的を実現しつつ、今日では、その内容がはるかに多面・豊富なものとなり、さまざまな機能を発揮できるようになつている。すなわち、炉内(湯溜り)試料採取法が誕生し、ジェット式フィーダーによる差し物および脱硫剤の吹込法が完成し、水または非酸化性ガスの吹込みによる温度低下法が確立し、低Si・低S・高Mn銑の製造、頭寒足熱作業、急速炉況回復ばかりではなく、これらを駆使することによつて湯溜りにおける熔銑の成分および温度を自由自在にコントロールすることができるようになったのである。そして、この成分および温度の完全調整と深い湯溜りとにより、constant temperature, constant component, one or three taps one dayつまり一定温度、一定成分、一日一回ないし三回出銑の熔銑炉の可能性を生じたのである。

さらに、特殊吹精法は脱クロム法としても発展しつつある。



第 11 圖 Free energy of formation of oxides. (Richardson and Jeffes, revised)

終りに、この研究において擱んだのであるが、酸素と水の組合せによつて「恒温酸化」、つまり一定温度における酸化の可能性が生じたのであり、これによつて鉄鉄中の各元素の種々の温度における酸素との親和力を実験的に調べることができれば、学問的にも實際的にも得るところが大きいと考えられる。たとえば、第 11 図はリチャードソンとジェフスがつくつた Si, Mn, Cr, C などの酸化物の生成遊離エネルギー、すなわち酸素との親和力と温度との関係を示すものであるが、この関係を実験的に求めうる可能性が生じたのである。

幸にして、文部省と八幡製鉄の厚意により東大生研に 150kg の高周波電気炉を建設することができたので目下「一定温度吹精の研究」をおこなつている。

終りに、この研究に共同研究者として御協力、御援助をいただいた八幡製鉄の方々ならびに東大生研の各位に心からの感謝の意を表す。こうした協力によつて特殊吹精法はここまで発展することができたのである。

なお、この研究に特に御好意と御援助をいただいた元八幡製鉄社長故三鬼隆氏、元八幡技師長故小平勇氏、元東大助教授故桑井源禎氏にこの研究報告を捧げ、今後の完成を誓うものである。

付記

報告書名には列記していないが、本研究には元研究室員長井保、八塚健夫、本間八郎の三君が参加していたものであることを付記しておきたい。(昭和 29 年 4 月寄稿)

高炭素帯鋼の硬度組織に及ぼす焼鈍の影響 (I)

(熱間加工後の高炭素帯鋼について)

(昭和 28 年 1 月日、本会講演大会に於いて講演)

深尾 雄四郎*・森 成 敏**

EFFECT OF ANNEALING CONDITION ON HARDNESS AND STRUCTURE OF HIGH CARBON STEEL STRIPS (I)

(Studies of Hot-Rolled High Carbon Steel Strips)

Yusiro Fukao & Masatoshi Mori

Synopsis:

With eight varieties of samples taken from the hot-rolled high carbon steel strips containing 0.47-1.38% carbon, the effect of annealing temperature and the holding time on their hardness and structure was studied.

- 1) There was found a distinct relationship between the hardness and the structure, and when the structure was spheroidized the hardness value became minimum.
- 2) In hyper-eutectoid steels, the temperature to develop the minimum hardness was higher as the carbon content increased. And the minimum hardness value obtained was almost invariable being independent from the holding time.
- 3) In eutectoid and hypo-eutectoid steels, the temperature to develop the minimum hardness was lower as the holding time increased and the minimum hardness value obtained became low as the holding time increased.
- 4) The temperature to develop the minimum hardness value in each holding time was enhanced as the carbon content increased.

I. 緒 言

炭素鋼の球状化焼鈍については従来種々の方法で実験

* 新理研工業株式会社平井工場

** 新理研工業株式会社王子工場