

技 術 資 料

電氣爐に於ける酸素製鋼に就て

菅 野 五 郎*

USE OF OXYGEN IN ELECTRIC ARC FURNACES FOR STEEL PRODUCTION

Synopsis:

Use of oxygen in electric arc furnace in the refining process for steel production was experimented in the United States through the years of 1930 to 1940, principally for recovery of chromium in the remelting process for low carbon high-alloyed stainless steel.

The experiment having been successful and the mass production of oxygen at low cost having become possible, the range of application of the same gas to various types of electric furnace in the steel refining process was enlarged.

In Japan the research of oxygen application to electric furnaces was commenced belatedly as compared with that for application to open hearth furnace following the termination of the War, but the experiment has developed into the actual stage of use for production in a number of steel works.

Presently the object of oxygen application involves acceleration in the melt-down stage and bessemerizing in the steel bath. The benefits of oxygen application should be, therefore, considered from the viewpoint of material and power economy, operation efficiency and quality improvement.

This article dealt with the history and present condition of oxygen application to electric furnaces for steel production on the basis of a general conception gained from home and overseas reports and experiences in the authors' actual practice.

I. 緒 言

電氣爐に於ける酸素瓦斯の利用は米國では 1930 年頃に始まり漸次發展を續けている。初期に於ける實驗ではボンベ詰の酸素しか利用出来なかつたため、一定の流量を保持する事が困難で且つ小規模の物しか出来なかつた。併し乍ら其後 1930~1940 の 10 年間米國に於て不銹鋼の需要が急激に増加してその結果生産者は多量の不銹鋼屑の蓄積を有し、この屑から有利に Cr を回収する事が製鋼業界の大きな課題となつた。そしてこの問題が酸素瓦斯の利用により解決される事が發見されたので、電氣爐操業者はこの試験に専心邁進したのである。當時の低炭素不銹鋼 (C<0.08%) の製造法としては、普通鋼屑と Ni とよりなる装入物を熔解し、之を鐵礬石又はスケールを以て低炭まで酸化した後 Fe-Cr を投入して作ったものであつた。この場合は不銹鋼屑の使用は殆ど不

可能である。より高炭のもの (C<0.12%) の場合始めて不銹鋼々屑 30~40% を使用する事が出来たが、この場合でも鐵礬石等による酸化脱炭は極めて困難であり、鋼屑撰別處理の困難、Cr の莫大な損失、熔解時間の延長、爐體壽命の低下等の難問題が残る。茲で酸素瓦斯を利用すると後述の如くに鋼浴中に含有される炭素は Cr の良好な歩留の下に酸化除去せられて、上記の諸問題は殆ど解決せられるのである。この事實によつて電氣爐に酸素瓦斯を使用する事の有利性が認識せられたが、更に大型液體酸素工場の建設によつて純粹且一定流量の酸素を大量安價に入手する事が可能となるに及んで、工業的利用の第一歩が開かれた譯である。その後各種の電氣爐鋼の精鍊に普及利用され、種々な方面に於けるその顯著な利點によつて、電氣爐精鍊に於ける従來の酸素供給劑

* 神戸製鋼所熔解課長

たる鐵鑛石又はスケールの役割を完全に奪つて之を驅逐してしまつた。

一般に米國に於て電氣爐精鍊に酸素瓦斯を利用する場合、従來法に比較して次の如き利點があると云われている。

i) 製造原價の低下: 電力量、鑛石量、石灰量の尠當り使用原單位が低下し、時間當りの生産量が上昇する。又合金鋼屑をより多く配合出来るから當然製造原價は低下する。

ii) 品質向上: 従來法に比して活潑且つ正確に停止し得る如き沸騰精鍊が自由に實施出来るから、鋼質に於ては有害な介在物、酸素、水素等が減少し白點發生等の危険性も少なくなる。

iii) 低炭素鋼特に低炭不銹鋼の製造: 一般に低炭素鋼の製造が容易になり、特に高 Cr 鋼屑を用いて 18% Cr, 8% Ni, 0.03% C 程度の不銹鋼の製造が可能となつた。之は腐蝕に對して含 Ta 含 Ti 不銹鋼より高い抵抗性を示す。しかも Cr の歩留が良好である。

iv) 鋼浴溫度の調節: 従來の鑛石法では吸熱反應であるために溫度降下の原因となつた鋼浴諸反應がこの場合は發熱反應となる爲に逆に鋼浴溫度を上昇せしめる。又酸素が Fe と反應する場合も強い發熱反應である爲、鐵を燃焼劑とする鋼浴加熱方法も考えられる。この事は鑛石法では到底考えられなかつた事で、これに依る精鍊操作の容易化、品質の向上は著しいものがある。

之に反して不利な點としては

i) 酸素瓦斯又は發生裝置に對する費用。

ii) 浸漬管 (ランス) の消耗

iii) 吹精條件の如何によつては爐體及爐床の壽命の低下すること。

iv) 酸素吹精時に於ける激しい煙の發生等が擧げられている。

尙酸素瓦斯を電氣爐に於て鋼屑の熔解促進に使用するには、酸素を湯溜り中に吹込む方法の他に、重油バーナーと併用する方法が擧げられているが、現在迄餘り明確な結論は出ていないようである。

本邦に於ける酸素製鋼は、戦後先づ平爐に於て熔解促進と脱炭精鍊を目的として實施された。電氣爐に於ける之が應用は稍々おくれで開始せられ、酸素發生裝置を有する比較的大きい工場を除いては未だ日常作業として行つては居らず、實驗的な範圍を出でないようである。しかし乍ら、例えば學振 24 小委に於ては現在「鑄鋼品に對する電氣爐酸素製鋼」の標準作業法が各社の實驗資料に基いて審議検討されつゝあり、次第に本法の普及實施

が期待される所以である。勿論特殊鋼方面に於ても次第に本法の適用範圍が擴張されつゝある。更に比較的小さい鑄鋼工場等で酸素裝置設備の餘力のない所では、鑛石法との中間的存在とも云うべき空氣製鋼法が研究され既に實施されている所もある。

當社* では 1951 年初頭より容量 120m³ のリンデ式酸素發生裝置を用い、鹼基性及酸性の電氣爐に於て熔解鋼種全般に亘つて全面的に酸素吹精を實施し、品質及作業能率の點で好成績を収めている。

以下歐米¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾の並びに本邦¹¹⁾¹²⁾に於ける諸報告と當社における實際操業の經驗を基礎として、電氣爐酸素製鋼に就て最近の事情を紹介しよう。

II. 設備及吹精操作

電氣爐に於ける酸素製鋼の目的は大別して熔解促進とベツセマーライジング(脱炭)とせられる。

熔解促進の目的に對しては米國では既に實驗より操業段階に入つていと報告せられているが、一般には電氣爐としては第二義的なものとされているから、茲では簡單にふれるに留めよう。この目的に對しては、i) 酸素併用の重油バーナーによる方法と、ii) 酸素單獨を鋼浴プール中に突込む方法とが擧げられ、前者は將來我國に於ても電力事情如何によつては應用されるべき問題であると思うが、この際ひどい煙の發生と裝入物に對する油の影響を特に考慮に入れねばならない。プール中に酸素を吹込んで湯熱を上昇し熔解を促進させる方法については、米國では主として 1/2~1' の高壓ノズルを具えた水冷管を用い、高壓 (6~8kg/cm²) を以て鋼滓直上から導入する。1m³ の酸素が鐵と化合する際の發熱量は 5360K Cal である。

ベツセマーライジングに使用する場合は、徑 1/2~1' (Eisaman²⁾ の報告によれば米國の標準は 1/2' とされている。) 長さ 6m のランスによつて鋼浴に突込むか、高壓ノズルを具えた水冷管によつて音速以上の流速で鋼滓上より壓入するかであるが、後者は現在餘り應用されていないようである。ランスは先端をシャモットとジュートで巻き、或いは黒鉛のノズルを用い或いは裸の儘である。この際ランスの保持は我國では専ら人力により、米國ではローラ式摺動裝置を用いて自動的に調整をする所もある。ランスを鋼浴中まで突込むべきか鋼滓鋼浴の境界面に止めるべきかについては未だ意見が一致していない。壓力は大きい爐で 6~8.5kg/cm² 程度のもので、

* 神戸製鋼所本社工場

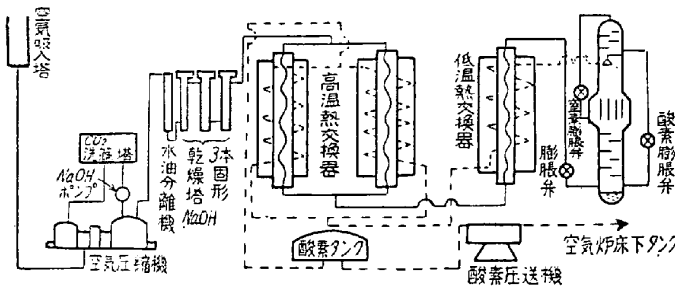
小爐では更に低い所が多い。酸素によるベッセマーライジングの目的は各論の項で之を示そう。

以下に當社電氣爐で使用する酸素の發生装置と吹精の現場操業を述べて一例としよう。當社では熔解促進の目的に對しては熔落直前にランスを用いて残りの堆積物の切崩しを行う程度であり、之も相當に効果はあるが本質的な目的は矢張りベッセマーライジングにおいている。

當社における使用例。

i) 設備

酸素發生装置は第1圖の如くである。



第1圖 酸素發生及び壓送装置

圖中の主要な設備及び容量は下表の如くである。

第1表 酸素發生及び壓送装置

空氣壓縮機		酸素發生機		酸素壓送機	
馬力	能力	能力	型式	馬力	能力
300HP	600 m ³ /hr	100 m ³ /hr	高壓空氣壓縮式リンデ式	65HP	100 m ³ /hr
	型式能力				型式能力
	横置串型五段型				竖三段型
	2.6				4.4
	10.0				30.0
	32.0				150.0
	100.0				kg/cm ²
	200.0				
	kg/cm ²				

標準充填量 95m³/hr, 68・500m³/month
 酸素純度 99・8%

酸素工場で發生した酸素瓦斯は、壓縮機により高壓パイプ(内徑 25mm 外徑 38mm)を通して100m離れた電氣爐作業床下にあるタンクに壓送され吹精に備えて蓄えられる。

タンク容量は 2・8m³ (0・2m³ ポンベ14本) で最大許容壓力は 95kg/cm², 常用壓力は 75kg/cm² である。

タンクには酸素瓦斯中に含有される水分を抜くため分離装置を備える。タンクから更に高壓パイプにより爐前にある取出口に送られ、こゝで壓力調整用の減壓弁で適當な吹精壓力に落す。

吹精は一端に耐壓ホース(内徑 30mm 長さ 10m)の

ついた全長 5~8m 内徑 15~25mm 外徑 20~30mm の引抜き鋼管を用いて行う。

ii) 吹精方法

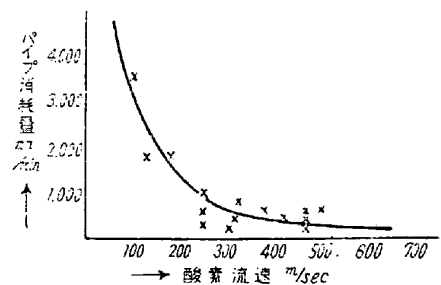
吹精の場合は通電を止め、電極を捲上げ、飛沫、焔よけの衝立をおいて装入口よりランスを約 20~25° の角度を以て挿込み、先端が鋼浴鋼滓の境界面より約 10cm 位下に入る如くしている。このランスの突込みの深さは脱炭効率、パイプの消耗に大きい影響を與え、又突込みの位置及び角度は爐體の損傷の程度を左右するもので熟練と慎重が必要である。

ランスには被覆剤を用いていない。突込み前に熔滓をパイプに巻きつけ直ちに引出し、少量の酸素を通じて冷却してから挿入する。黒鉛製ノズルの使用は考慮の餘地がある。

吹精時期は、目的鋼種によつても異なるが、少くとも、1580°C 以上に充分温度が上昇してから行うのが常である。之により脱炭効率、合金歩留等の好條件をねらう譯である。

吹精壓力については 10kg/cm² を採用する。(公稱 6~10t 爐) 之は聊か高い値かも知れぬが、當社の經驗では爐體の損傷を考慮しても吹精壓力を之以下に落す必要はないようである。尙試験のため壓力を 10kg/cm², 7kg/cm² と變化して見たがその結果温度上昇、効率には變化なく、唯パイプの消耗量が前者では 9・9cm³/m³O₂ で脱炭、後者では 18cm³/m³O₂ であつた。多くの文献や平爐操業の資料によつても流速とパイプ消耗量との關係ははつきりしている。第2圖に當社平爐における例を示す。

吹精酸素量は減壓弁の高壓側にある壓力計の吹精前後に於ける壓力差によつて求められる。流速は 300~500 m/sec の程度である。



第2圖 パイプ消耗量と酸素流速との關係 (當社平爐に於ける酸素吹精の場合)

III. 各鋼種の精鍊時に於ける酸素瓦斯の利用

前述の如く電氣爐に於て鋼浴の脱炭精錬に酸素瓦斯を鑛石に代えて用いる事は、低炭高 Cr 不銹鋼屑の再熔解に端を發するもので、現在に於てもこの方法の有する意義は蓋し大なるものがある。しかし乍ら上述の様な主に原料經濟的な意味の他に鋼種によつては品質改善の効果を求め、又あるものは能率、原單位方面に主目的をおき或る場合は之等の二、三者を兼ねるものもある。それ故茲に電氣爐酸素鋼の一端をうかがう意味に於て、a) 低炭素鋼、b) 構造用鋼、c) 低炭高合金不銹鋼、d) 鑄鋼(以上鹽基性爐)、e) 酸性爐鑄鋼の5種類について稍々詳細に記述することにする。

a) 非合金低炭素鋼

酸素製鋼の有する特徴の一つは極低炭素鋼の製造を可能ならしめた點である。従來鑛石法に於ては炭素を極めて低くまで下げようとする、時間が永引き爐床の損傷が大である。この原因として

i) 鋼滓からの酸素の供給速度が緩かである。

ii) 鑛石と炭素との反應は吸熱であるから、反應に必要な温度を得る爲には電力の供給を大にせねばならぬ。なる點が擧げられるが更に後述の如く、鋼浴中に生成した [CO] が氣泡として脱出する事が困難である事も原因となり得る。この場合 [O] の値は、 $[C] \cdot [O] = \text{const}$ で與えられる數値を著しく上廻つて所謂「過酸化」となり以後の操作を困難にする場合が多い。

酸素製鋼によれば上述の惡條件が著るしく緩和されて比較的樂に [C]=0.02% 程度まで下げ得られる。低炭素鋼を酸素吹精した場合の一例について脱炭速度その他の狀況を第2表に示す。

第2表 低炭素鋼精錬時に於ける酸素吹精の特性 (M. Delbey)⁶⁾

	第1次	第2次	第3次
最初炭素量 %	0.21	0.060	0.0425
最終炭素量 %	0.06	0.0425	0.030
熔鋼越當酸素消費量 $l m^3/t$	2.65	4.50	4.50
越當 0.01% C 脱炭に要する酸素量 $m^3/t \times 0.01\% C$	0.18	1.14	2.00
脱炭速度 %/分	0.044	0.0045	0.003

即ち最初の急速な脱炭に比し、終に段々緩かになり酸素消費量が急増する様を知るべきである。

d) 構造用鋼

電氣爐で熔製される構造用鋼について、i) 構造用炭素鋼 ii) 構造用合金鋼に分ける。

i) 構造用炭素鋼

主として 0.2~0.5% C 程度のものであり、斯る鋼種

に對する酸素瓦斯の使用要領は従來の鑛石法の場合と大差がない。併し鑛石法に於ては充分な酸化沸騰効果を收め、且炭素量を適當な範圍に收めるには熔溶炭素量、鑛石量、鋼浴温度等を慎重に調整する要があるに對し、酸素製鋼の場合には操業が比較的容易でしかも充分な効果が期待される。但し脱炭効果は鑛石法の方が確實でありこの點注意が必要である。

ii) 構造用合金鋼

主として 0.2~0.5% C 程度、更に Ni 1~4%、Cr 5~2%、Mo 0.20~0.50% 程度を含有するものが之に相當する。斯る鋼種で特に注意すべき點は水素含有量である。水素は合金鋼に於ける白點の主原因と考えられ、水素の高い鋼は後續加工工程に於て非常に手数を要するとされている。この水素を減少させるには酸化期に於ける活潑な沸騰により熔鋼中の水素量を減少させると共に造滓剤、差物等の乾燥豫熱によつて、この浸入を防止することが必要な條件とされている。

従來の鑛石法による場合は、鐵鑛石は乾燥に努めても尙且つ完全脱水は困難であるため、Sims 氏の報告の如く熔鋼に鑛石を投入する毎にそれ自身の水分のため水素を増加することが認められる。更に又従來は鋼浴中の Cr 量が或程度(例えば Cr>0.30% 程度)以上にある時は鐵鑛石によれば沸騰精錬が不充分となつて脱水素効果が收められなく、従つて高級鋼の熔解に際しては、斯る Cr 系鋼屑の配合が極力制限せられて來たのである。

酸素法に於てはそれ自身の含有水分の浸入もなく、又上述程度の Cr 量による沸騰妨害も考えられない上、鑛石法に比し 10 倍近くの脱炭速度による強烈な沸騰が期待出来るので、 $3 \times 10^{-4} \% [H]$ 以下という如き低水素含有量も期待出来る次第で、白點に敏感な鋼種の熔製における不良品對策に一大偉力を加えた譯である。

一般に構造用鋼全般については、スクラップの利用範圍擴大による原價の低下の他、精錬時間の短縮、水素の減少、成分、温度の調節容易、合金元素の歩留向上等の利點が擧げられる。

c) 高 Cr 系不銹鋼

高 Cr 系不銹鋼屑、例えば 18-8% Cr-Ni 鋼、或いは、13% Cr 鋼屑等を多量(100%迄)配合した装入物を用いて、鹽基性電氣爐で熔解した場合に於いて、鋼浴中の [C] を Cr の酸化滓化に先んじて酸化除去する事は、非常な高温を要し、酸化劑として従來の鐵鑛石を使用する時は、此と鋼浴中諸元素との反應が吸熱反應なる爲、鋼浴温度が降下して Cr の滓化のみ著るしく行われ脱炭は殆んど不可能であつた。此の場合酸化劑として酸

素瓦斯を使用すれば、鋼浴温度は上昇し、Cr の損失を防止しつゝ脱炭操作を行う事が出来て、鋼浴炭素量を所要の量に調節し、更に鋼滓の還元を行つて、Cr の最大歩留をねらう方法が可能となるのである。

此の事は實に劃期的な事というべきで、合金節約に著るしい利點を示した。

既に米國に於ては、此の方法により、始めて多量の高Cr 不銹鋼屑の貯藏を利用して、低炭オーステナイト系不銹鋼の莫大なる要求量に應える事が可能となつたと云われており、現在も 25~70t 公稱という大きな鹽基性爐で操業されている。(米國 Chelius 特許 No. 222696 7). Cr 歩留は 78~88% と報告され、電力消費量は 50~600KWH/t の程度である²⁾

本方法に就ては、獨乙の R. Fischer⁶⁾ による廣汎な實驗結果が發表せられており、彼は 100% の合金鋼屑よりなる装入を用いて、0.84%C/hr に達する脱炭速度を以て、0.04%C なる高 Cr-Ni 合金鋼の精鍊に成功した。

彼によれば Cr の歩留は、最終炭素量 0.10% 迄に對しては約 90%、0.06% では 80% 以下であつた。品質と鋼の清淨度に關しては、熱間加工性、非金屬介在物、耐腐蝕性、耐酸化性及び熔接性能は普通の熔解法の場合と同様であるが、複炭化物の分解に對して必要な高温は爐床の耐久性に關して著るしく不利であつたと報告している。第 3 表は、J.H. Berryman, J.M. Crockett⁷⁾ の報告中より酸素吹精に於ける記録をとつたものである。

第 3 表

出鋼 t 數	炭素量%		クロム量%		使用酸素量 m ³	温度 上昇 °C
	自	至	自	至		
33	0.35	0.027	3.2	2.73	420	240
31.4	0.41	0.08	4.32	3.61	320	230
49.8	0.40	0.08	4.26	2.04	410	35
46.3	0.16	0.09	10.72	9.31	210	135

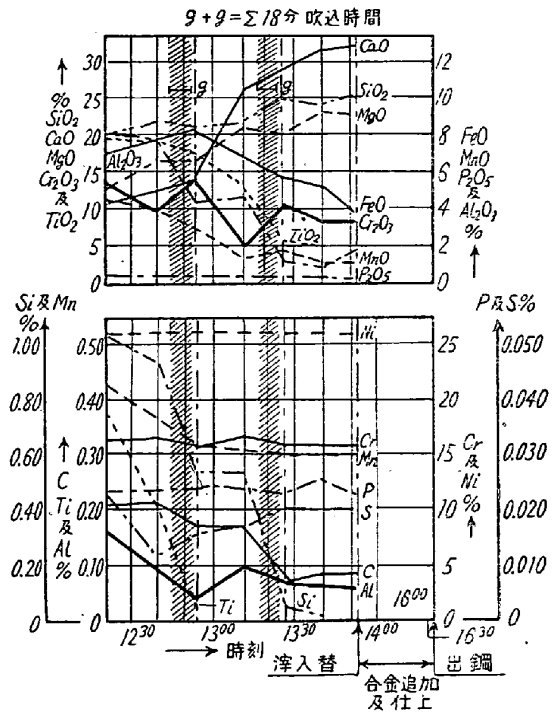
(メートル鏈換算)

この記録を見ても、僅かな時間の酸素導入の場合でも、之による鋼浴の温度上昇は顯著であり、鑛石を使用する場合に比し Cr の損失は著るしく小である事が判る。

次に R. Fischer⁶⁾ の報告した熔解例を示す。

イ) 装入は 7.5t で、その 78% が Cr 約 15%、Ni 30%、残りが Cr 23%、Ni 20% の何れも耐熱鋼屑である。

ロ) 酸化期



第 3 圖

熔落後鋼滓を還元し除滓する。C=0.21, Cr=17.8. 約 30 分間温度上昇に努め、1500°C (エミシビティに依る補正を行わず。以下之に同じ)。になつて、第一回吹精 (9min) この間灰褐色の煙立つも、本格的脱炭なし。Ti は 0.20→tr. になつてゐるが、他の元素は充分に除去されぬ。唯 Si=.95→.55 に除去されている。Mn.72→.65.

鋼浴温度は 1500°C から 1630°C に上昇。

C はこゝでは僅か 0.04% 下つた丈である。

30 分後第二回吹精 (9min)。

この時本格的脱炭あり、1700°C に昇温。Si .55→.05 C.18→.08, Mn.61→60.

本格的な脱炭は Si tr になつた後らしい。

ハ) 還元期

鋼滓を還元後除滓、不足 Fe-Cr を投入して出鋼、出鋼温度 1630°C

當社に於いても、13%Cr 系のものを 80~100% の返り屑を用いて、酸素製鋼を既に十數熔解行つたが、Cr の歩留は大體 75~85% 程度で、好成绩を収めている。製品の耐蝕性は良好で水素量も 4×10^{-4} % 程度であつた。

尙本鋼種を酸性爐で熔解した場合の状況について D. C. Hilty の報告¹⁰⁾がある。彼は酸性爐で Cr の歩留を積極的に向上させる爲、配合炭素を高くし、又鋼滓中に Al 粉及び CaO と CaSi の混合物を撒布して、Cr の還元

第4表 酸性爐に於ける高クローム鋼熔解記録

熔解番號	操業方法 目的	酸素吹精前後				Cr量歩留り		酸素吹精		脱炭速度	温度 °C		温度上昇 °C	出鋼温度 °C
		C量		Cr量		吹精前後	装入量に對して	時間	量m ³		%C/min	吹精前		
		自	至	自	至					%			%	
45054	普通法	0.14	0.079	16.65	12.15	73.0	69.8	2'12"	10.25	0.0278	1770	1899	129	1770
45055	Al添加	0.23	0.088	16.55	12.61	74.0	72.7	2'00"	9.32	0.0741	1815	1954	139	1793
45064	配合C高	0.18	0.052	14.44	9.61	64.3	55.4	2'15"	10.49	0.0567	1760	1810	50	1815
45065	Fe-SiCaO	0.48	0.10	17.12	12.51	71.0	69.8	2'45"	12.80	0.140	1648			1815
45068	添加	0.22	0.072	16.35	12.65	77.3	72.7	2'15"	10.49	0.0658				

を調べた。その結果、Alを使用すれば鋼滓中の酸化せるCrを回収し得ると云っている。第4表は本報告から求めた酸性爐に於ける不銹鋼溶解の記録である。

小型酸性爐による不銹鋼の再熔解については米國に於ける幾多の例が報告せられている。

d) 鹽基性鑄鋼

本邦に於ては電氣爐鑄鋼熔解は殆ど大部分が鹽基性によるものであり、こゝ一年餘に亘つて各工場に於て鹽基性操業に酸素吹精を行う實驗が試みられており、當社の他一、二は既に實施段階に移行している。學振 24 小委は鐵道車輛關係の鑄鋼業者に呼びかけて、既に數回の會合によつて「鑄鋼酸素製鋼の操業標準」を審議し來り、最近に至つてほゞ成案を得るに至つている。

この種の熔解に於ても酸素使用の目的は原單位低下、能率上昇と共に品質の向上(脱瓦斯)であり、3~6t(ドロマイト爐床)公稱の爐を標準とし、SC 41~47を對象として審議している。決定案として豫想せられるものは「熔落成分として C>0.35%, Mn>0.20% とし、熔落 P%の如何によつては鑛石法による脱燐を行う。温度 1580°C 程度えの上昇をまつて、内徑 1/2~3/4', 長さ 6m のランスにより酸素を吹込み(7kg/cm²)この際 0.04~0.06%C/min 程の脱炭がえられる。(C=0.15~0.20, Mn>0.18, 温度=1630°C) 第三酸化期を設けず除滓、還元期に入る、以下鑛石法に同じ。

という趣旨のものである。

審議中各社よりの提出資料によつて大體次の如き操業上の諸元が與えられている。

吹精壓力	4~10kg/cm ²
吹精酸素量	4~7m ³ /t
ランスの消耗量	10~40cm/m ³ O ₂
脱炭速度	0.05~0.10%C/min
1kg 炭素の除去に要する酸素量	1.2~2.2m ³
電力原單位の切下げ	10%
製鋼時間の短縮	5~10%

e) 酸性鑄鋼

米國に於ては本邦に於けると反對に酸性電氣爐の鑄鋼熔解に於て占める位置は大きく、例えば 1944 年の統計によると鑄鋼メーカーで酸性電氣爐を備える工場は 186 で、月産 17.2 萬t の鑄鋼生産中、之によるものは 10.0 萬t で全體の約 60% を占めており、其他が平爐、轉爐及び鹽基性電氣爐(極めて少い)による。而して酸性爐鑄鋼における酸素吹精の意義は大きく、鹽基性爐による不銹鋼や構造用鋼に於けるそれに勝るとも劣らない。

鑄鋼熔解に用いられる酸性爐はこの國では 2~6t の小爐であり(3t 公稱が最も多い)吹精用のランスは 3/4' 徑パイプのものが多く、吹精壓力は多くは 2~3kg/cm² という低壓であり、その理由として酸性鋼滓がパイプ先をよく被覆するので消耗が少いこと、従つて専ら爐體の保護に重點をおく爲と説明している。パイプは 6m 1 本でよく 4~5 チャージの吹精に耐えるという。

酸性鑄鋼に於ける酸素利用の目的は湯温の上昇及び調節の可能性、脱炭の促進、従つて製鋼能率の向上、電力原單位の低下等であり、装入原料の關係から品質上の考慮は二義的であるが、少くとも鑛石法に劣ることはないという程度であらう。(勿論脱瓦斯の點有利である)能率向上、原單位低下の例として A 工場(5t 爐)で數ヶ月の平均(數百チャージ)をとると、

熔落炭素量 %	0.36
最終炭素量 %	0.19
吹精時間	2min 20sec
壓力	4.2kg/cm ² (25mm管)
脱炭速度 %C/min	0.077
酸素消費量 m ³ /%C×t	13

で時間、電力量は

鑛石法	1hr 20min (5.03t) 605KWH/t に對して
酸素法	1hr 13min (5.80t) 540KWH/t

とあり、B 工場(5t 爐)では同じく 25mm 管で 4.2 kg/cm² で吹込み 15m³/%C×t の酸素を用いる、電力

節約は 15KWH/t で時間の節約はない。

鑛石法を用いる場合には鑛石投入によつて湯温が低下し、次に湯温が上昇すると鋼滓から FeO が解放されて爆發的沸騰を起し、こゝで又一度に反應が終る程湯温が下つてしまう様な事があるが、酸素が都合のよい瓦斯體であるのと流入速度は一定で FeO の急激な増加はなくしかも炭素との反應は遲滯なく行われる結果脱炭は迅速である。唯脱炭効率、Mn の歩留を考慮して吹精前の鋼浴温度さえ充分高く (例えば 1600°C 以上) すればよい。

本邦に於ては鹼基性爐に壓倒されて、酸性電氣爐で鑛鋼熔解をやる所は現在當社(鹼基性と併用)の他二、三を數えるのみである。之は燐、硫黃等の規格と屑鐵取得の事情から見て已むを得ぬ場合もあると考えられるが、酸素製鋼と結びつけると製鋼能率の向上、電力、爐材等のコストの切下げの點から見て有利な方法である。當社の電氣爐では公稱 6t 爐で 10kg/cm² 程度の壓力で吹込み 0.09~0.11%/min の脱炭速度を得ているが、さして爐體の損傷を恐れる必要はないようである。

尙我々の經驗では鹼基性爐に比し酸性爐の場合、ランスの消耗が著しく少ないという事實は見らない。

IV. 冶金學的考察

電氣爐における酸素吹精の特色は鋼浴の直接酸化による強烈な沸騰精鍊効果と、鋼浴諸元素の酸化熱による鋼浴温度上昇である。前者は従來の鑛石法に於いて酸化期で要求された諸効果を一層強烈且つ確實ならしめ、後者は高温精鍊を可能にした。その結果鑛石法では到底想像出来なかつた様な精鍊効果をあげられる様にした。以下に酸素製鋼に關する諸條件、狀況に對する影響因子について詳述する。

a) 脱炭速度

脱炭速度は吹精時に於ける諸條件即ち吹精前後の鋼浴炭素量、隨伴元素量、吹精時温度、吹精流量によつて大いに異なるべき性質のものであるが、何れにせよ鑛石法に比して壓倒的に大なる數値を示す。例えば非合金鋼に對して 0.10%/min にも達し、之は鑛石法の場合の精々 0.005~0.007%/min なるに比して 10 倍以上であり又高 Cr-Ni 合金鋼の場合でも 0.010%/min 以上に達する例が示されている。

脱炭速度は吹精後の炭素量が一定の場合には主として吹精流量に左右され、吹精壓力自身はむしろランスの消耗率と爐床の損傷とに影響を與えるものである。

各鋼種に於ける酸素消費量、脱炭速度に關しては米國の多數の工場で行つた各々約 1,000 熔解の結果が報告

されているから之を引用する。

第 5 表 種々の工場に於て酸素により脱炭せる約 1,000 熔解の總括 (Sommer⁷⁾)
(メートル電換算)

鋼種	酸素消費量 m ³ /t	脱炭速度 %/min	m ³ /%C×t 鋼塊
鑄鋼	3~6	0.02~0.05	9~22
低炭素鋼	3~6	0.01~0.025	9~22
軸承鋼	6~9	0.01~0.02	12~24
高合金 Cr 鋼	12~30	0.002~0.015	61~310

特に酸素が脱炭上に偉力を示すのは低炭素領域に於てであり、之の際の温度上昇が大きい影響を與える事は前述の通りである。

b) 脱瓦斯, 脱燐

脱水素に關しては鑛石法自體に於てさえ尙この機構の本質に關して異つた見解¹⁶⁾¹⁹⁾が存在しているが、鑛石自體のもつ水分を除いて考えれば、ある程度以上の脱炭速度が脱水素又は水素の吸收防止に有利なる事はほゞ認められる所である。この點酸素法が鑛石法に優る事は當然の事であり事實現場作業でも優秀な脱水素効果が確認されている。又 Cr 含有鋼屑の熔解の際、鑛石法では沸騰効果が不充分で Cr の含有量如何では全然沸騰不能であつたが酸素を使用すればこの問題も解決された。

中炭素程度の非合金乃至低合金鋼に對する酸素製鋼の存在理由は主として之による品質改善にあると思われ

る。脱室効果についても又明瞭な試験成績が示された。

脱燐効果を擧げる爲には

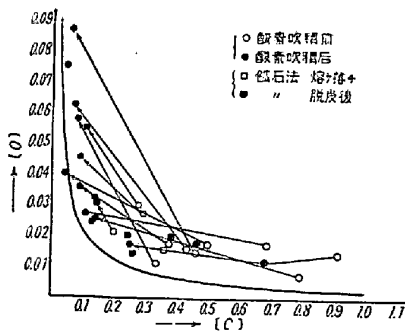
- 1) 鋼浴の低温なる事。
- 2) 鋼浴、鋼滓が強酸化性なる事。
- 3) 鋼滓が強鹼基性なる事。

等の三點が必要な條件とされているが、酸素吹精の場合には (3) の條件を除いては明らかに鑛石法に比して不利と考えられる。事實現場作業に於ても之の事は認められ前記學振 24 小委の提出資料によつてもこの問題に關しては鑛石法の方が確實で結果は安定していると結論せられている。

c) 鋼浴及鋼滓中の酸素含有量。(付脱炭機構)

酸素製鋼の場合、脱炭速度が異常に大である反面、同一炭素量に對する吹精後の鋼浴酸素量 [O] は鑛石法に比して一般に低く、第 4 圖の例に見る如く Vacher-Hamilton⁷⁾ の與える [C]-[O] 平衡値により近づいている事が確認せられている。又同じく鋼滓中の酸化鐵量或いは (ΣFe) 値がより低い事も確かである。之は本酸

素製鋼の冶金學的特色とされている。今之等間の相關關係を考察する。



第4圖

鑛石法の場合、脱炭速度と鋼浴(鋼滓)酸素量とに關しては既に H. Schenck¹⁴⁾ 及び F. Körber¹⁵⁾ によつて代表せられる對蹠的な二つの見解があり、脱炭速度を支配すべき三つの因子

- i) 鋼滓より鋼浴への酸化鐵の移行速度。(擴散による。
- ii) 均一相たる鋼浴中における炭素と酸化鐵の化學反應速度。
- iii) 鋼浴中に一旦溶解した [CO] の瓦斯としての逸出速度。

の内、Schenck は最も遅い即ち全體の速度を支配するものは ii) なりとし、之に反して Körber は iii) なりと斷じている。前者は $[\text{FeO}]/(\text{FeO})=L$ なる分配平衡…但し (FeO) は遊離成分…は常に成立するものと考えており、鋼浴の鎮靜状態に於てのみ [C]-[O] 平衡が成立して此際 [O] は最も低く、後者によれば

- イ) [C]-[O] 平衡は鋼浴の激しい沸騰状態に於て始めて之に近づく事が出来、然らざる時は [O] は (FeO) との平衡に近い。
- ロ) イの場合、 $[\text{FeO}]+[\text{C}]\rightarrow[\text{Fe}]+[\text{CO}]$, $[\text{CO}]\rightarrow\{\text{CO}\}$ の方が速度が $(\text{FeO})\rightarrow[\text{FeO}]$ の速度を上廻り、従つて $[\text{FeO}]/(\text{FeO})=L$ は成立しない。
- ハ) $[\text{CO}]\rightarrow\{\text{CO}\}$ が起るためには、物理的條件としてある種の表面(例えば爐床表面の小隙、固體狀金屬或いは既に存在する氣泡表面等)が必要である。

と主張している。

更に温度や鋼滓の成分、流動性等の影響からして、脱炭速度を支配するものは i) 即ち酸素の補給速度なりとする説も有力である。

鋼の精錬は要は鐵—炭素—酸素三者が主役であり、従つて脱炭速度—酸素含有量間の關係は製鋼理論の核心ともいふべきであり、以上の諸説には從來夫々の支持者¹⁵⁾と裏付け資料があるが、又例え H. J. Krabiell¹⁶⁾ の如く、「[O] の値が脱炭速度と [C] 値によつて定まるから大體 Schenck の考えが正しい。しかし各鋼浴深さにおける [O] 値によつて擴散速度は彼のいう程速かでない、又 CO 瓦斯發生は主として床面上で行われる事が判るから、彼の説も全般的には正しいといえず、この點 Körber の脱炭機構本質論¹⁷⁾を併せ考えねばならぬ。」とする中間説も存在する。

1948 年の A.I.M.E. には諸學者²¹⁾によつて再び、脱炭速度と [C], [O] 等の關係が主として平爐のデータにより詳細に論じつくされているが、その中で Larsen は $\Delta[\text{O}]$ ([C] 及び一氣壓の CO と平衡するよりも過剰の酸素) なる數値を用いて

「 $\Delta[\text{O}]$ は脱炭速度や鋼滓の (FeO) 及び流動性等には無關係であり、この値の變化は爐床表面の状態によつて熔鋼—爐床の接觸面における氣泡發生の難易さが影響される事による。」

として新舊の爐床又は前熔解の鋼種による $\Delta[\text{O}]$ の變化を説明しているが、之に反して Sims は

「常に脱炭速度を支配する如き一定の隘路なるものは存在しない。例えば CO が溶解状態から瓦斯状態に變化する過程は確かに主な隘路の一つであり、その原因は CO 發生のため必要な特殊の状態による。しかし之が必ずしも脱炭速度を支配する因子ではない。CO 壓力一定の時は發生速度は爐床状態によつて變化するだろうが、爐床を一定状況におけば速度は鋼中の CO 壓力と共に變化する。」更に

「平爐の lime boil 期に於ては [O] が低い。この場合石灰石からの CO_2 が鋼中からの CO の逸出を助け、この時期には隘路は鋼滓からの酸素の補給速度である。逆に大量の鑛石投入後は [O] は増加し、之は CO 壓力を増大し、その結果激しい沸騰によつて [O] は速かに定常状態まで低下する。かく酸素の補給速度が高い時期には、明らかに CO 發生が脱炭速度を支配する隘路である。」

としている。特殊の場合として轉爐について説明し、この場合、補給速度が非常に高い一方、氣泡發生に對する抵抗は常に存在している瓦斯相によつて除かれている。それで脱炭は非常に速かに進行するが反面、轉爐鋼は如何なる [C] 値に對しても平爐鋼に比し [O] は低い筈であるし、平爐鋼浴中に酸素を吹込んだ場合恐らく

同じ事がいえるだろうと結んでいる。

電氣爐の酸素吹精に於て、脱炭速度の大きい原因としては Sims の如くに前述の i) iii) の兩因子、即ち補給速度の大なる事と瓦斯發生のための表面提供を併せて考えるべきであり、種々の場合に應じて幅をもつた見方をするのが一應安全であろう。勿論脱炭速度、酸素含有量共鑛石法と比較する場合、温度上昇の因子は忘れる事が出来ない。

酸素吹精の他、窒素瓦斯、壓縮空氣等の吹精における脱炭速度、酸素量の關係から脱炭機構の本質についての認識を一步進める事は非常に意義が深い。Fischer⁶⁾等は酸素瓦斯が一旦雰囲気中に逃げ、之が鋼浴の沸騰時に於て再び湯を酸化するような過程すらも想像している。

d) 鋼浴温度の上昇

酸素吹精に依る鋼浴温度の上昇は導入酸素と反應する元素の種類に依り決定される。

鋼中の主な元素の酸素との反應熱は第6表の如くであり、これに依りFe及Cの酸化は相當の發熱反應である事が判る。これは鑛石法に於ける此等諸元素の反應が例えば炭素の如く吸熱反應のものがあるに對して大きな利點であり、鋼浴の温度上昇に依り、品質上の好影響が豫期される。

第 6 表

元素名	反應熱 (Kcal/m ³ O ₂)
C	2,372
Fe	5,685
Si	8,767
Ti	9,820
Mn	8,361
Al	11,333
Cr	8,125

特に發熱量の多い元素、Si、Ti、Al等については、その反應熱に依る温度上昇が大きい爲、不銹鋼の熔解等に於ては、爐體に對する惡條件にも拘らず、温度上昇の有効な手段として、意識的に利用される位である。

一般に酸素吹精に依る温度上昇は、被酸化元素の變化に左右される他に、局部的温度上昇も考えられる爲、爐内の温度分布の不均一も豫想される。實際各工場の測定結果も著しくふれている。前記鹽基性鑄鋼の資料に依れば、吹精前後に於ける温度差は、+30~40°Cと云う値が示されており、又 Berryman, Crockettの例りでは、不銹鋼の熔解に於て、+35~140°C (30~50tの出鋼に對しては 210~420m³の吹精)と報告されている。

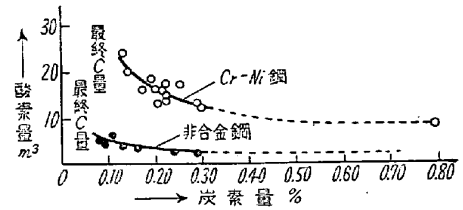
温度の上昇が、脱炭反應促進の一原因となり、低炭素

範囲に於て、特にこの影響が大である事は、既述の如くである。

e) 導入酸素の舉動及び、Mn, Cr, の歩留り

一般に導入された酸素の舉動は、鋼浴成分、鋼浴温度鋼滓成分に依つて著しく變つて来る。

これは此等の條件に依つて鋼浴の被酸化元素が變つて来るからであつて、同じ脱炭量でも必要な酸素量が非合金鋼と合金鋼で著るしく變つて来る。第5圖に R. Fischerの例を示す。



第 5 圖

これに依つても導入された酸素が、炭素と反應する割合が高 Cr-Ni 鋼では非合金鋼に比して少く、結局炭素 1kg を酸化する酸素量が増大する事が判る。

それ故脱炭反應が主目的の場合は極力 Cr, Mn 等の隨伴元素の酸化を防いで、導入酸素が炭素に集中反應するよう諸條件を調整する必要がある。

一般に製鋼の常識から考えて、鋼浴中・Mn の歩留は高いことが望ましく、一方 Cr は場合によつて高い歩留をねらう場合と、反對に除去したい場合とがある。

酸素製鋼の場合は通常鑛石法に比して [Mn] の歩留りが高く、その理由として

- 1) 鋼浴温度の急速なる上昇が可能なる事。
- 2) 鋼浴及び鋼滓中の酸化鐵量の低き事。
- 3) 酸素が氣體として鋼浴への直接補給なる事。

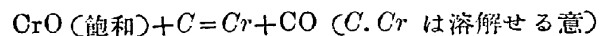
等が考えられる。

Cr は Mn に比し遙かに酸化性の小さい元素であり、その舉動傾向はほぼ Mn に準じて考えられるべきである。

低炭高 Cr 系不銹鋼を再熔解する場合の炭素と Cr との關係について、D. C. Hilty⁹⁾によつて報告された Fe, Cr, C, O, と温度との間の關係がある。之れによると、下記の結論が示されている。

イ) 温度一定の場合、含 Cr 熔鋼中の Cr と炭素との關係は平衡恒數 $K = [Cr]/[C]$ によつて表される。

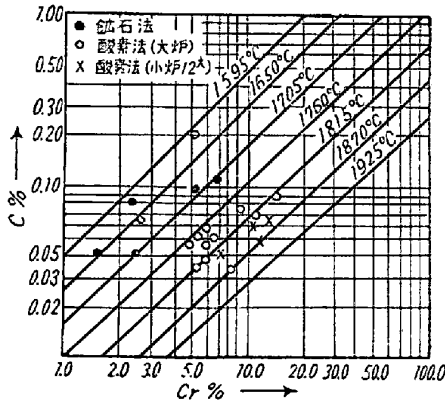
ロ) 反應は恐らく次の如くであろう。



ハ) 温度の影響は次の如くである。

$$\log K = -15200/T + 9.46$$

第6圖は彼による酸化期末の温度 [C] [Cr] の相關々係であつて、この圖から非常に大切な現場的な結論が得られる。圖中の實線はマグネシア坩堝で熔解した結果で書かれた物であり、○●×は實際の現場作業から得られた酸化期末の値を示す。



第 6 圖

例えば 0.05%, 1595°C では理論上すべての Cr が滓化するが、1870°C に到達すれば、12% Cr が鋼浴中にえられる。高温に達すれば達する程多くの炭素が Cr に先立つて燃焼する。又磁石を用いる場合はより低温で酸素を用いるのと同じ結果がえられることも判る。又例えば、0.06%C, 1815°C では鋼浴中 [Cr] は約 9% であるが、0.04%C, に於ては同量の [Cr] は、1870°C に於て始めて得られる。或いは 0.04%C に於て 1815°C 以上の高温がえられぬ時は 1870°C におけるよりも約 3% の Cr が餘分に滓化せられる。そこでライニングを 1870°C の危険にさらすか、或いは 1815°C に留めるべきかに装入中にもつと Cr 量を減らすか、否か、又は長時間の還元操作によつて爐材を痛めるか、或いは滓化せる Cr の一部を断念するかという如き現実的な問題が絡んで来るわけである。かくしてライニング耐火度の向上こそ低炭不銹鋼屑の再熔解に於て最高の合金歩留を得せしめる爲の最重要の條件となるものである。尙文献中には酸素吹精時に於ける、Si, Mn の高歩留を利用して、低炭珪素鋼高滿俺鋼等の電氣爐再熔解が可能であると言う。温度や爐材の問題があり、筆者等の経験では疑問視される点であるが、確かに従来法では企圖しえざる独自の境地と云わねばなるまい。

V. 經濟的な考察

電氣爐に於いて酸素瓦斯を熔解促進、又はベツセマライジングに使用する事の經濟的な利害得失は、その使用

目的が多岐に亘る爲鋼種に依つても違い、又電氣料金、使用酸素の價格等の資材状況に依つても違つて來るので一律には論じられず、明確に數字を以て示す事も困難である。

併し何と云つても全般的に見て最も注目すべし事は、今迄は高周波誘導爐等で極く一部しか使用出来なかつた高 Cr 鋼屑を全面的に使用して、その含有する Ni, Cr, Mo 等の高價な元素の回收利用を可能にした點である。之に依つて不銹鋼の製造は質量共に顯著な向上を示した。資材の節約としては、磁鐵石、造滓劑、使用電力、電極消費量等の節約が見られるが、その絶對量は操業要領、酸素使用方法に依つて違つている。一例として米國に於ける磁石法との比較を第7表に示す。之は特殊な例であるが、2 屯装入の公稱 1t 酸性爐で不銹鋼鑄物を、返り屑 80% 装入して熔解した場合の數値である。

第7表 磁石法と酸素法とに依る t 當りコストの比較 Sommer⁷⁾

	酸素法 10t 熔解		磁石法 41 熔解		参考 單位 (\$)
	單位	量	量	コスト (\$)	
電力	RWH/t	615	7.35	762	RWH 0.012
電極	kg/t	9	2.43	10.6	0.27kg
酸素	m ³ /t	15.3	2.46		0.16m ³
磁石	kg/t			26	0.012kg
耐火材料			1.36	1.36	
作業時間	hr/t	5.7	8.43	6.8	1.48hr
合計			22.03	23.73	

上例中で酸素瓦斯は外部より購入された物と考えられるが非常に高價で、當社で自家發生装置で製造した場合に比し4倍以上になつている。

本邦における報告としては、鹽基性爐で鑄鋼を熔解した場合の各社の記録を綜合して見て、消費電力及び電極は共に 10% 節約、製鋼時間は 5~10% 短縮という結果が出て來た。製鋼時間の短縮は當然人件費其他の點で費用の輕減を意味するのである。

結局此の問題に就いては現場の作業條件が異なるので、相當長期間に亘つての記録を検討した結果で無いと信頼性に乏しく今後引續き調査する必要がある。

VI. 結 言

以上の敘述によつて著者は最近に於ける内外の諸報告及び當社その他工場に於ける酸素吹精の諸資料からの綜

合判断に依つて、電氣爐に於ける酸素製鋼の現状につき紹介した。電氣爐製鋼の酸素瓦斯の利用によつて、脱炭速度、鋼浴温度の著るしき上昇、強烈なる沸騰効果による品質の改善、Mn, Cr等合金元素の歩留向上、製鋼時間の短縮、電力原単位の低下等、品質的、能率的、経済的に有利な點が多く認められるが、これ等は當然製造鋼種に依る以外に、爐の種別、爐材、装入原料等の諸條件に依つても実施目的が變つて来る。

實際操業に當つては未だ吹精方法（吹精前の鋼浴温度吹精壓力及び流量）ランスの消耗と保護対策、爐體壽命への影響等、考慮改善の餘地も少くなく、精錬の目的に依つては、鑛石法、空氣法の併用も考えられる。

現在の所では爐體の損傷や電氣爐本來の使命から考えて、熔銑からの直接精錬は考えられないが、電氣爐の酸素製鋼も平爐の場合と異つた意味において重要であつて酸素の大量生産に依る價格低減と相俟つて洋々たる將來性が豫想出来る。 (昭和 27 年 4 月寄稿)

参 考 文 献

- 1) J. H. Berryman & J. M. Crockett: Iron Age Aug. 5 (1948), 72~
- 2) J. H. Eisaman: Blast Furnace and Steel Plant, Sept. 36 (1948), 1079~1084.
- 3) Friedlich Illian: St. u. Ei., Heft. 1, (1951) 18~19.
- 4) Max Haück u. Harro Werwach: St. u. Ei., Heft. 1, (1951) 15~18.
- 5) F. Sommer: St. u. Ei., 69 (1949), 15~23.
- 6) R. Fischer: St. u. Ei., 70 (1950), 10~21.
- 7) F. Sommer u. H. Pollak: Electrostaehlerzeugung. 1950. Verlag Stahleisen m. b. H. Düsseldorf.
- 8) M. Delbey: Circulaire à l'Information Techniques, Nov.-Dec. 1949.
- 9) D. C. Hilty: Journal of Metals, 1. Feb. (1949), 91.
- 10) D. C. Hilty: Journal of Metals, 1. Sept. (1949), 20~23.
- 11) 高橋俊雄, 瀧波勝文: 電氣製鋼 22 卷 5 號 (26年 9月).
- 12) 小出 隆: 製鐵研究, 第 149 號, 2. 1951.
- 13) F. Körber, W. Oelsen: Mitt. K.-W.-Inst. 17 (1935) 39~61. St. u. Ei., 56 (1936), 181~201.
- 14) H. Schenck: Einführung in die physikalische chemie der Eisenhüttenprozesse. Berlin (1934) Bd. II. 44~94.
- 15) G. Leiber: Mitt. K. W. Inst. 18 (1936), 135~147. St. u. Ei., 57 (1937), 237~249.
- 16) H. J. Krabiell: St. u. Ei., (1944), 399~404.
- 17) H. C. Vache u. E. H. Hamilton: Trans. Amer. Inst. 95 (1931), 124~140. St. u. Ei. 51 (1931), 1033~1034.
- 18) H. Wenstrup u. H. Fücke: St. u. Ei. (1949) 117~122.
- 19) P. Herasymenko u. P. Dombrowski; Arch. f. d. Eisenhüttenw, 14 (1940), 109~115
- 20) H. Schenck: Einführung in die physikalische Chemie der Eisenhüttenprozesse, Bd II. Berlin 1934, 249.
- 21) T. E. Brower & B. M. Larsen: Oxygen in Liquid Open Hearth Steel, (I) A.I.M.E. (1948) T. E. Brower & B. M. Larsen: Oxygen in Liquid Open Hearth Steel, (II) A.I.M.E. (1948) C. E. Sims: The Mechanism of C-O Reaction in Steelmaking, A.I.M.E. (1948), S. F. Urban & G. Derge: Oxygen in Basic Electric Furnac, A.I.M.E. (1948),