

小型こしき炉操業の基礎的研究 (酸素添加送風について)

加 藤 薫

昭和49年9月30日 受理

1. 緒 言

鑄鉄の溶解には広くキュボラが使用されている。小規模の工場では、小型キュボラ(こしき炉)が汎用されているが、容量が小さくなる程、炉況の変動が甚だしくなって安定操業を続けることが困難である。中型、大型のキュボラでも、初湯から高温の溶湯が得られて捨湯をなくすとか、粗悪コークスの完全燃焼とか、操業中に、送風量の変化や、不当な操業によってコークス床の高さが低下した際に、または、操業途中での一時操業を中断したときに、再開後直ちに炉の温度を高める必要に迫られる場合がしばしば起る。これらの際に、早く炉況を立て直すための方策として、送風中に酸素を注入する実験研究がいくつかなされてきて良い成績を収めたとの報告がある¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

本実験は、微量の酸素添加によって溶湯の溶解温度の上昇、溶解速度の向上、および炉況の変動について行ったものである。特に炉況の状況はCO₂の変動を観測することによって可なり明瞭な結果を得た。溶湯の溶解温度、および溶解速度についても、以前に行った酸素を使用しない実験に比較して非常な好成績が認められた。ただし、実験に用いたこしき炉は自家製の超小型こしきであるので比例的に直ちに他のキュボラに適用できるとは考えられないが多分の示唆を与えたものと信じている。

2. 実験装置とその方法

実験用超小型こしき炉の諸元の概要は次の通りである。

炉 内 径	200 mm
有 効 高 さ	1200 mm
羽 口 比	22
標 準 溶 解 能 力	60 kg/hr

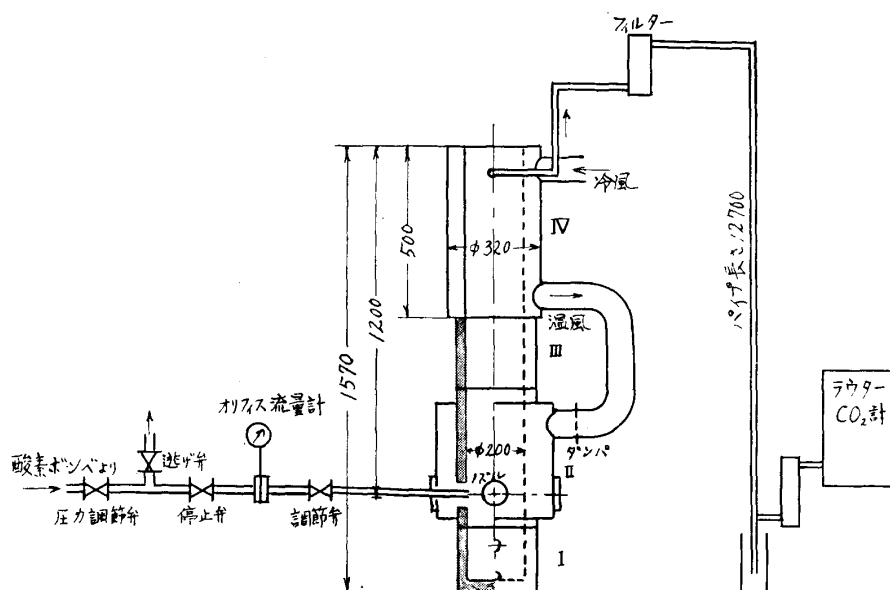
また、溶解条件は

コ ー ク ス 粒 度	20~30 mm
追 込 め コ ー ク ス 比	20 %
コ ー ク ス 床 高 さ	600 mm
温 風 温 度	150°C~200°C

鑄 込 温 度	1350°C
酸 素 噴 射 圧	3 kg/cm ²
酸素噴射オリフィス径	3 mm および 5 mm

とした。なお、酸素噴射率は次の式を用いた。

$$\text{酸素噴射率} = \frac{\text{添加酸素量}}{\text{送風量} + \text{添加酸素量}} \times 100\%$$



第1図 実験装置の系統図

第1図は実験用こしきの温風送風装置と、酸素添加方法およびCO₂測定装置の系統図である。冷風操業のときは、こしき上部のIV部(2重胴)を普通の胴に取換えて行う。

酸素を添加する方法は、(1)キューボラへの送風管の中心に酸素の噴射管を取りつけて、送風が羽口に達する前に空気と酸素が十分に混合して、酸素富化された空気をキューボラ内に送る。(2)酸素を別のパイプによって羽口、または別の炉壁から炉内へ直接に噴射する、の2つに分けられる。前者を酸素富化操業法とし、後者を酸素噴射操業法として区別できる。さらに、いずれも溶解操業中、酸素を連続的に添加する方法と、間欠的に添加する2つの方法がある。この実験では(2)の酸素連続噴射操業法によって羽口へ導かれたノズルから極く微量の酸素を添加して、経費の低減を計りながら前述の目的がどの程度達成されるかを以前に行った、酸素無添加の実験結果と比較検討してその成果を調査した。

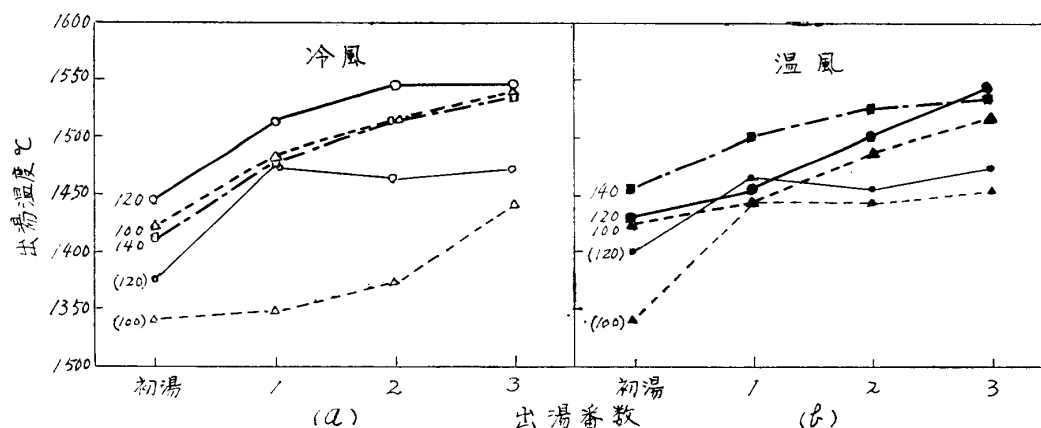
なお、おのおの出湯時には2個宛資料を鑄込んで、機械的性質、鑄造性などを調べた。

3. 実験結果

3.1 溶解温度

3.1.1 微量酸素添加の場合

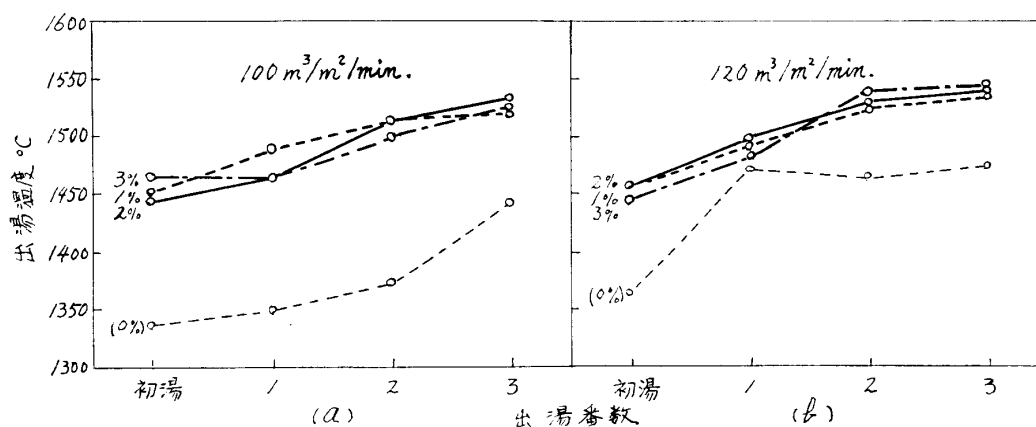
第2図(a)は冷風操業の場合であるが、初湯からおのおの風量について1400°C以上の出湯温



第2図 微量酸素添加の場合の出湯温度

度が得られている。参考のために示した無添加（前年の実験）では、 $(100) \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min.}$ 、および $(120) \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min.}$ のおのおの風量るときより高温の湯となっている。（ $(140) \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min.}$ のときの線図はこの図面には省略）出湯番第2回目、第3回目の出湯温度では、(a) のときは 1500°C を超えている。(b) 図の温風操業のときも同じような結果を示している。

3.1.2 少量酸素添加の場合



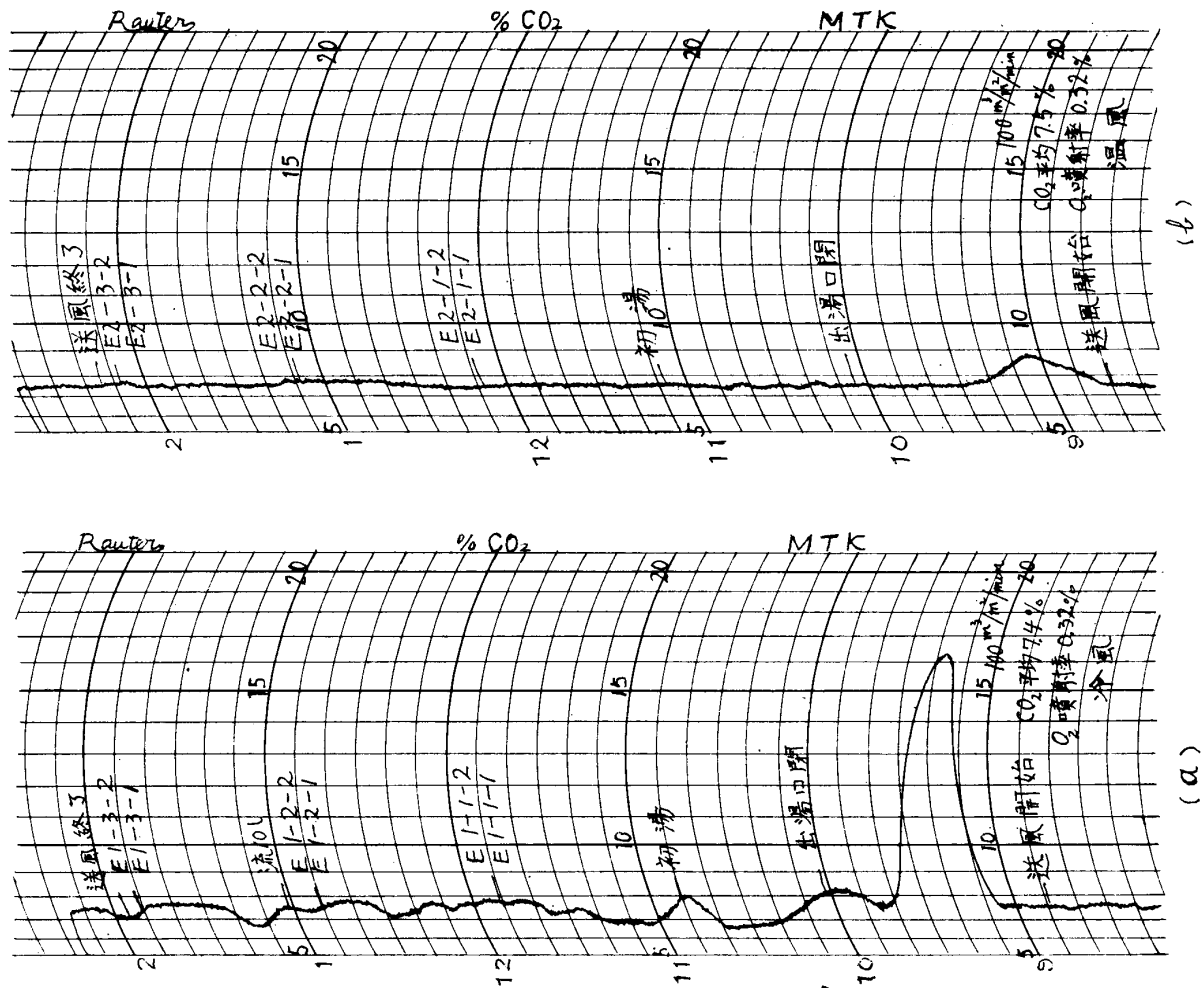
第3図 少量酸素添加の場合の出湯温度

第3図は (a), (b) 共冷風操業の場合であるが、酸素噴射率 1%, 2%, および 3% についてはほとんど微量添加のときと同様な傾向を示し、おのおの%のそれぞれの温度差は少いが無添加に比して著しく高温の湯が得られたことがわかる。

3.2 CO₂ の変動

3.2.1 微量酸素添加の場合

炉内の燃焼状況は直接観測することができない。しかし、燃焼状況を間接的に知るのには、炉頂 CO₂ の値およびその変動を測定して、これによって判断する一方法がある。この実験においても我々が数年前から採用している方式に従って CO₂ について測定した。測定にはキューボラ用ラウター CO₂ 計（溶銑用）を使用し、こしき炉頂から 100 mm 下部の相対する 2ヶ所の穴へ吸引管を挿入してパイプを通じて CO₂ 計に連結して、その変動を記録紙に自記させて、この記録



第4図 微量酸素添加操作中のCO₂の変動

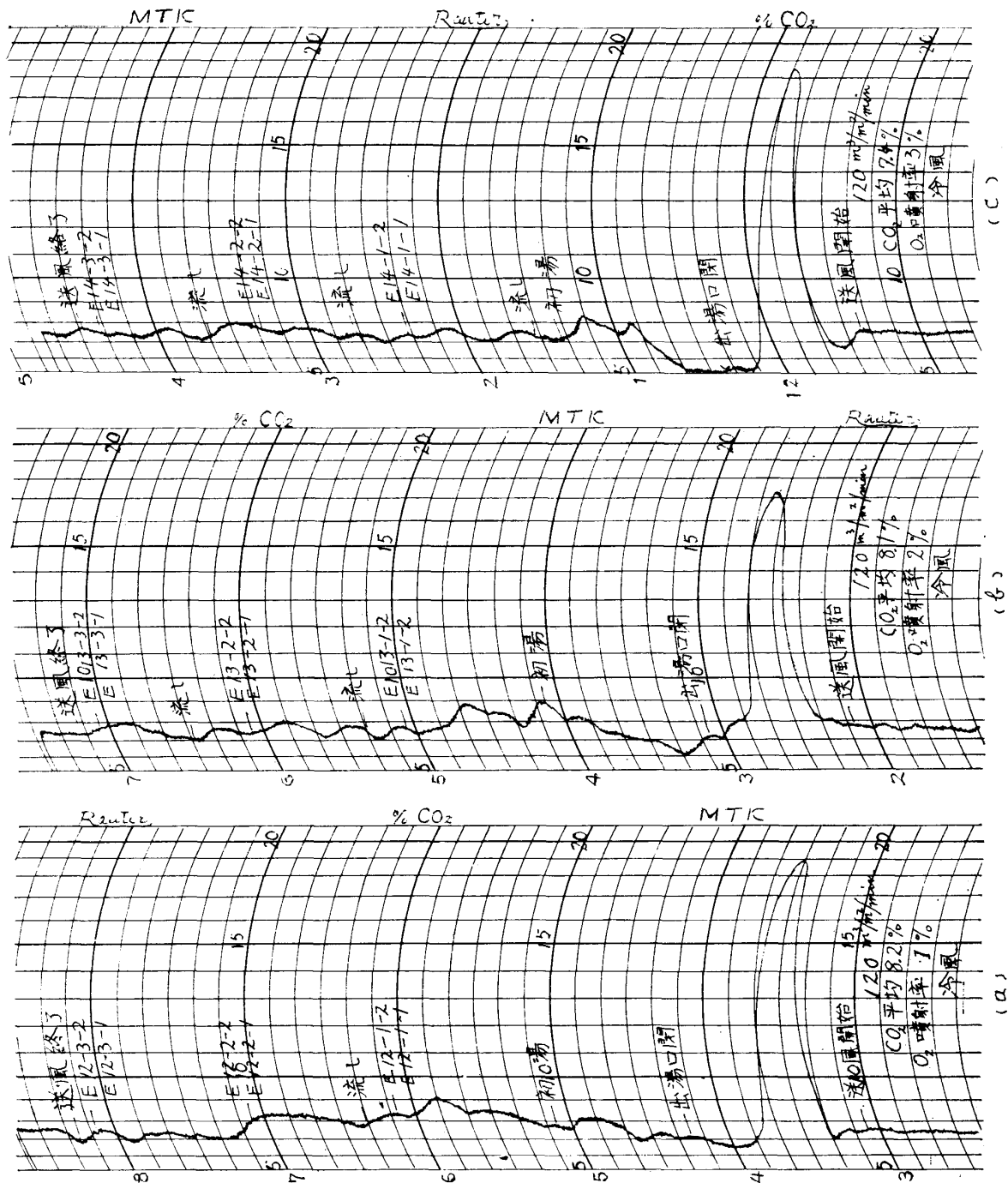
を分析することによって CO₂ % および 燃焼状況を求めて判断した。(第1図参照) 記録された記録紙の一例を第4図に示す。これは送風量 100 m³/m²/min. (3.14 m³/min) の例で、(a) は冷風送風、(b) は温風送風の場合である。酸素の添加量はいずれも 10 l/min. であるから、酸素噴射率で表わせば 0.32 % となって極めて微量である。しかし、(b) 図に見られるように温風送風では送風開始後、間もなく CO₂ % は約 7.5 % で直線的でほとんど変化していない。以前に行った多くの実験例に較べても、このような安定した操業例は初めての経験である。また (a) 図は冷風送風であるが CO₂ の変動はやはり僅少であることがわかる。以前の酸素を使用しない実験例では、温風、冷風を問わず CO₂ の変動が甚だしくて小型こしき操業の困難さを経験していたが、微量酸素添加によってこれ程改善されようとはむしろ予期しなかった結果となった。

酸素添加量を変えないで、送風量を 120 m³/m²/min. (3.77 m³/min.) および 140 m³/m²/min. (4.40 m³/min.) に変えた場合も全く同じ状況を示している。(図面省略) なお参考のため普通操業では使用しない送風量 175 m³/m²/min. (5.50 m³/min.) の過剰送風についても測定したが、温風の場合は全く同様であった。冷風では多少の変化が見られたが、その差は極めて少なくて、酸素無添加のときよりも非常によい結果を得ている。(図面省略) 第4図中、初湯と資料採取の出湯間隔 (例えば初湯と E1-1-2 / E1-1-1) と、資料採取間隔 (例えば E1-1-2 と E1-2-2 / E1-1-1 と E1-2-1)

は、いずれも10分間隔であって、それぞれ2ヶ宛資料を採取したことを示す。

3.2.2 酸素少量添加の場合

次に酸素添加量を一定量と限定せず、これより少くし増加して、酸素噴射率1%、2%、および3%のおのおのについて実験した。送風量は $100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$. と $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$. で、いずれも冷風の場合である。それ以上の送風量、および温風送風については事情のため実験を継続することができなかつたので、この二者についての記録である。第5図 (a), (b), (c) は送風量 $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$. で、それぞれ酸素噴射率1%、2%、および3%の場合である。第4図 (a) に較

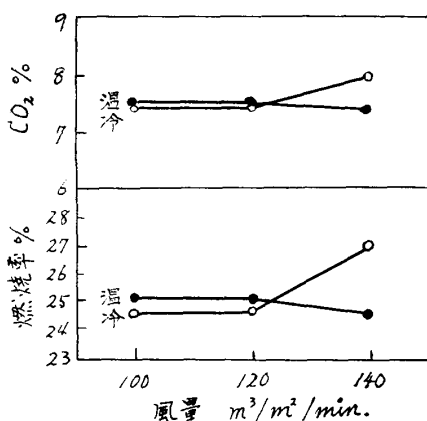


第5図 少量酸素添加操業中のCO₂の変動

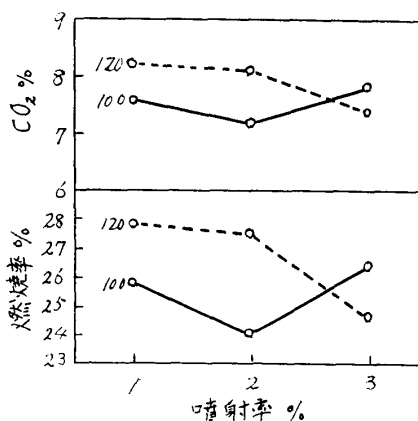
べて可なり CO_2 の変動の多いことが目立つ。送風量 $100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min.}$ についても大同小異である。(図面省略) もし、温風送風の実験ができておれば多分この変動は少なく、直線的になるのではないかと推定される。

3.2.3 燃焼率

第6図は微量酸素添加のときの、冷風送風、温風送風についておのおの風量毎にまとめたものであるが、上段の CO_2 の変動は、温風においては非常に僅少で、冷風の方でもその差は 0.6% である。下段の燃焼率 $\text{CO}_2/\text{CO}_2+\text{CO}$ を見ても温風は冷風より、おのおの送風量に対して安定している。しかし、燃焼率がこのように低いのは、超小型こしきのため、特に熱効率が悪いので止むを得ない。



第6図 微量酸素添加の場合の送風量と $\text{CO}_2\%$ および燃焼率



第7図 少量酸素添加の場合の噴射率と $\text{CO}_2\%$ および燃焼率

第7図は少量酸素添加の冷風送風の場合である。この実験結果を第6図の場合と異った方面から観察してみる。すなわち、いずれの風量のときでも、酸素噴射率 1% のとき $\text{CO}_2\%$ 、燃焼率 $\%$ が割合に高く、噴射率 3% では酸素の消費量が多く費用が増加することになり、噴射率 2% では燃焼率も悪くなって、むしろ噴射率 1% のときの方が経済的で、かつ充分好成绩といえる。

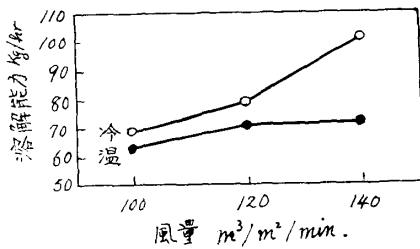
(註) 上記の CO の値は後述の方法で求めた。

3.3 溶解能力

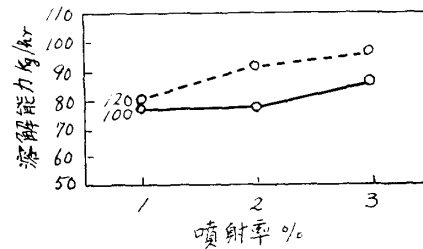
このこしき炉の標準溶解能力は 60 kg/hr として地金や追込めコークスなどの投入操作をしている。

微量酸素添加のときは、冷風の送風量 $140 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min.}$ のとき 100 kg/hr を超えているが、温風送風でも $64\sim 72 \text{ kg/hr}$ と標準溶解量を上廻っている。(第8図) 一般に、温風送風の場合の溶解能力は同条件の冷風送風に比して低いことは、過去の実験においても認められていたが、ここでも同じ結果が現われた。

同様の関係を少量酸素添加 ($1\%\sim 3\%$) の場合について求めると第9図のようになる。風量 $100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min.}$ では 77 kg/hr 以上、 $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min.}$ では 80 kg/hr 以上となって、溶解能力



第8図 微量酸素添加の場合の風量と溶解能力



第9図 少量酸素添加の場合の噴射率と溶解能力

は 20%~60% も増加している。この点からのみ見ると、溶解能力は酸素添加量に従って向上しているといえるが、炉壁の侵食面とか経済面から考えると必ずしも採用するわけにはゆかない。

4. 考 察

キューボラ内の燃焼反応は複雑であるが、簡単には空気中の酸素(21%とする)が燃焼帯で全部CO₂(21%)になり、その帯の上部で最高温度約1700°C~1800°Cになる。ついで高温のCO₂はさらに上層部にある高温のコークス中の炭素と接触しながら上昇しつつ還元反応を起し、温度は急激に低下して約750°C~800°Cまでこの反応が続けられる。このときのCOは還元反応が完全に行われたとすれば34.7%となるが、実際にはCO%の値は

$$CO\% = \frac{34.7}{21} \times (21 - CO_2\%)$$

の関係から求められる。

次でこの燃焼ガスは温度の低下とともに反応を止め、一定比率を保ちながら予熱帯を経て炉頂ガスとして放出されるから、このガス中のCO₂を測定することからCOは算出できる。

実用炉においては、経済面より見たときCO₂は10%~14%、COは12%~17%が最もよいといわれている。

この実験では全体を通じてCO₂ = 7.4%~8.2%、CO = 21.2%~22.8%でCO/CO₂ = 3.4~2.6となっており、上の報告値CO/CO₂ = 1.8~0.9に比して大きすぎるきらいがある。さらに燃焼率27.9%~24.0%となっており、燃料の利用率の低いことを示している。しかし、このことは最初に触れたように、超小型こしき操業の致命的欠陥として認めなければならないと思う。

以上の通り溶解温度、溶解能力および燃焼状況について分析してみたが、一般に、溶解温度については、微量酸素添加の場合、温風送風より冷風送風の方がわずかに優れているが、酸素少量添加に較べてさほど劣ってはいない。溶解能力、および燃焼率は微量添加の場合少量添加よりもやや低い。しかし、経済性を併せて考えると、酸素添加は微量で充分効果が現われていると考えられる。なお同条件の溶解では、温風操業の方がCO₂の変動が僅少であることから、炉況が著しく安定することが確かめられた。

5. 結 言

超小型こしき炉を使用して、酸素連続噴射作業の実験を行って、およそ次の結果を得た。

- (1) 酸素噴射率0.23%~0.32%の微量酸素添加で、溶解温度、溶解能力は著しく向上した。
- (2) このとき温風送風では特に炉頂ガス中のCO₂ %の値の変動が僅少で、炉況が安定することを示した。
- (3) 酸素噴射率1%~3%の少量酸素添加においては、溶解温度、溶解能力は(1)の場合より若干上回った。
- (4) 燃焼率は以前に行った実験とあまり変化はなかった。

以上の実験成績と経済性の両面から検討して、微量酸素添加で充分効果的であることが明瞭になった。

先にも述べた通り、このような超小型こしき炉の研究結果が直ちに実用炉に適用できるとは考えられないが、多分の示唆を与えたものと思惟している。

なお、この報告には実験データは省略したが、溶解した鑄鉄の材質、機械的性質および鑄造性については別段の変化が認められなかったことを付記しておく。

最後にこの実験に協力して戴いた各位に対して深甚の敬意を表する。

文 献

- 1) J. V. Harding, Ph. D., F. I. M. and F. B. Laurence: Foundry Tr. Jr. Feb. 28, 1963, p. 261
- 2) Tohm B. Lapota: Foundry. Vol. 86. No. 5, P. 269~276
- 3) Foundry Tr. Jr. No. 2552, Nov. 4, 1965, P. 599
- 4) H. J. Leyshon, J. V. Harding and R. B. Coates: Foundry Tr. Jr. Jan. 6, 1966, P. 3~7
- 5) 鑄物: 第38巻, 第2号. 1966, P. 87~88