

論 文

高圧コークス炉ガス火焰について*

山内 仁**・池田 保**

STUDY OF COKE OVEN GAS FLAMES
(Under 1kg/cm² Gauge Pressure)

T. Yamauchi and T. Ikeda

Synopsis:

The combustion method has an important effect upon the efficiency of heating and melting operation, especially the practice of open hearth furnaces is seriously influenced by it.

Formerly the mixed combustion of low-pressure coke-oven-gas and liquid fuel had been used, and the authors, making research on a better combustion method, reached to the conclusion after some experiments that high-pressure coke-oven-gas flame would be more advantageous for melting operation, and this high-pressure coke-oven-gas combustion was put into practice.

The authors studied on the relation between flame length, temperature, pressure and a melting test with the high-pressure coke-oven-gas (about 1kg/cm²) in the model open hearth furnace.

The results obtained were as follows.

- i) Actual velocity (Va) reached constant value at about 1kg/cm² burner pressure.
- ii) The higher the burner pressure, the longer the flame length.
- iii) Average flame temperature was corresponding to the burner pressure.
- iv) At about 0.7kg/cm² burner pressure, cutting effect becomes stronger.
- v) Momentum flux was saturated with the 50mmφ burner at 4000Nm³/h.

I. 緒 言

燃焼方法の適否は加熱溶解作業における操業成績を左右するものであるが、高温を要する平炉においては特に影響される所が大きい。室蘭製鉄所に於て従来圧力 0.1 kg/cm² 程度のコークス炉ガスと液体燃料による混焼を行つており、適切なる燃焼状態について研究していたがコークス炉ガスを高圧で噴出せしめると有利ではないかと考えるにいたり。高圧コークス炉ガス燃焼に就て試験検討の上実際操業に移行した。本報告では高圧コークス炉ガス燃焼の検討のために行つた予備試験について述べる。

II. 試 験 装 置

平炉燃焼法の基礎研究のために試験平炉を構築し溶解試験を行うと共に、バーナー試験も並行して行つた。試験平炉は現在操業中の 150 t 平炉の約 1/8 の縮尺とし、コークス炉ガス燃焼とした。コークス炉ガスの性状の 1 例を参考までに Table 1 に示す。

コークス炉ガスは 2 kg/cm² 迄昇圧し、燃料使用量は実際炉の溶解室と試験炉の内容積比により 10Nm³/h を基準とした。試験平炉及びバーナー試験装置の概略を Fig. 1, Fig. 2 に示す。試験炉においては、後に Photo 2 に示す如く鋼製浅底の函に溶解用銅屑を積み重ねたもの

Table 1. Characteristics of coke oven gas.

CO ₂	C ₂ H ₂	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂	Calorie	Density
2.5	4.4	0	6.3	33.0	49.8	4.0	KCal/Nm ³ 4929	kg/Nm ³ 0.5150

* 昭和 31 年 4 月本会講演大会にて発表, ** 富士製鉄 K.K. 室蘭製鉄所

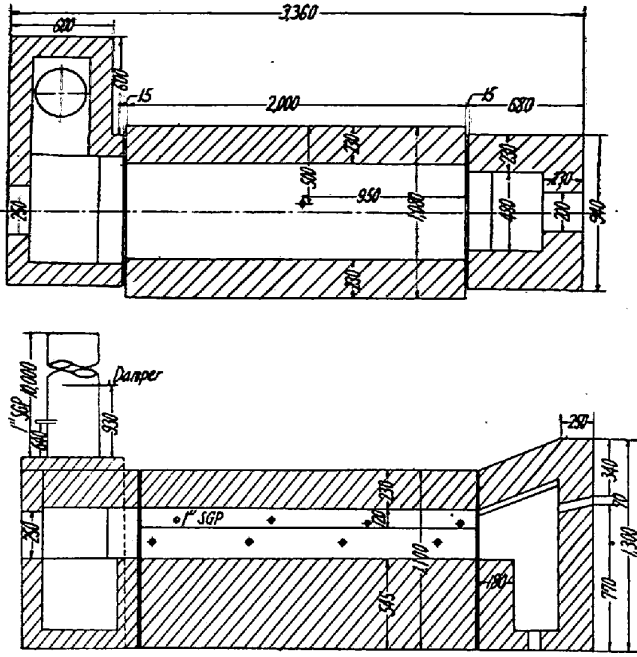


Fig. 1. Section of a model open hearth furnace.

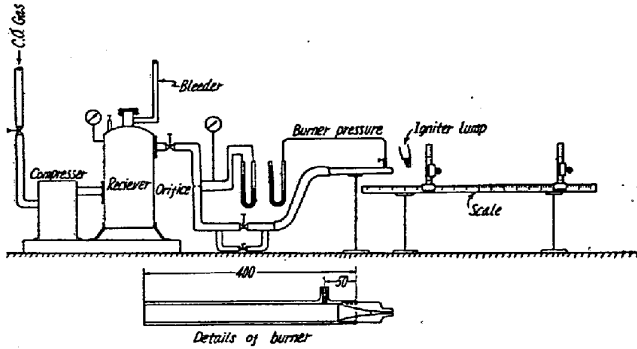


Fig. 2. Assembly of experimental apparatus.

を炉灰より押込み、溶解試験を行つた。焰の特性試験は炉外で行い、噴出速度が大となつて焰の燃焼が継続不能な時には、着火にトーチランプを使用した。バーナーチップは Fig. 3 に示すようにスロート付のもの、ノズル型オリフィス型の3種を使用しバーナーチップによる燃焼状態の相違を調べた。

III. 試験結果

1) バーナー先端圧力とガス噴出速度について

ガス圧力を変化させてガス噴出速度を測定すると。

Fig. 4 に示す如く 200~300m/s で V_a は一定値に達し、それ以上は圧力を上げて V_a は変つておらない。但し V_a は圧力 P に換算したガス速度である。バーナーチップの形状の相違により、同一圧力下における V_a の値は異つており、噴出ガスの流動状態が異つている事が推察されるが、 V_a が一定値に達したのは夫々の流動

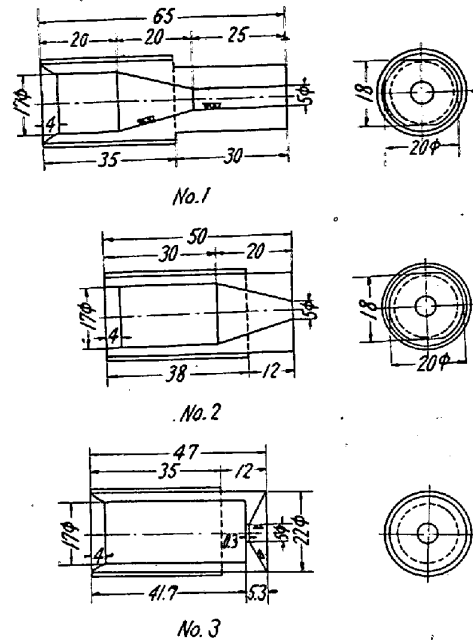
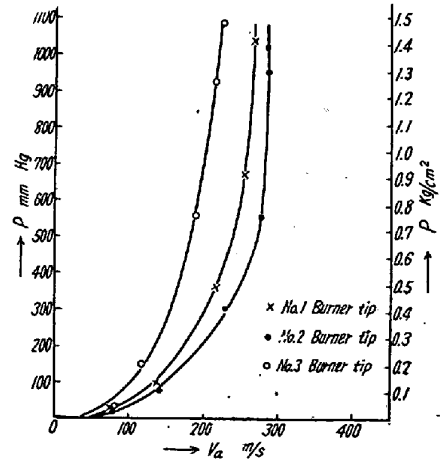


Fig. 3. Details of the burner tip.



P: Pressure at the burner tip
 V_a : Actual gas velocity at the burner tip

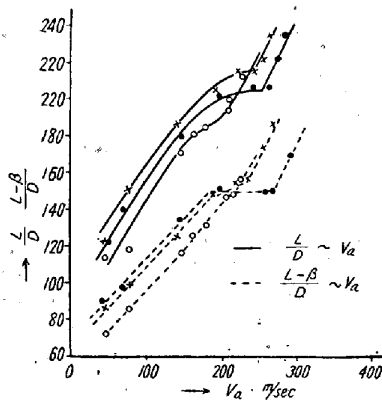
Fig. 4. P— V_a

状態に固有の音速範囲にぶつかつたものと思われる。

2) 焰の長さやガス噴出速度に就て

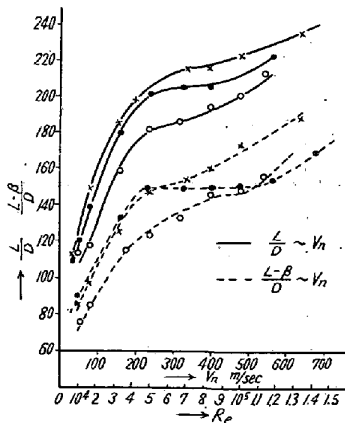
$(L-\beta)/D$ はノズルの大きさ及び噴出速度に関せず一定と考えられていたが、この実験結果によると Fig. 5, 6 に示す如く、明らかに噴出量と共に増加しており、 $(L-\beta)/D=150$ 附近でクニックを生じ、その後再び増加している。但し V_n は標準状態としたガス速度であり、Reynolds 数はバーナー先端の値である。 V_n と焰の長さの関係を求めると、 $V_n=200\text{m/s}$ 迄はほぼ L/D 又は $(L-\beta)/D = \text{const} \cdot V_n^{0.34}$ なる関係が見られた。次に焰の径とガス速度の関係は Fig. 7 の如く、ガス速度と共に径は大となり、 $t/(L-\beta)$ はある一定値に近付

いている。Fig. 5~7 よりスロート付バーナーチップが最も長く径の小さい焰を生じ、オリフィス型のチップは短く径の大きい焰を生ずる事が判つた。即ちバーナーチップにおける圧力損失が小さいため、噴出流のモーメントが大きく、伸びのある焰が形成されるものと考えられる。この様にバーナーチップの形状により焰の状態が変化するが鋭い伸びのある焰を形成させるにはオリフィス型バーナーチップは不適當であり、スロート付バーナーチップが有利な事が判つた。以上の結果は VnD が 2,000~35,000 cm^2/s の範囲より得られたもので、従来より高い流速範囲で試験を行つたものであり、定量的な考察については今後の研究に待たねばならない。



L: Flame length
 β : Length of non-combustibles part of flame
 D: Diameter of burner

Fig. 5. Flame length vs V_a



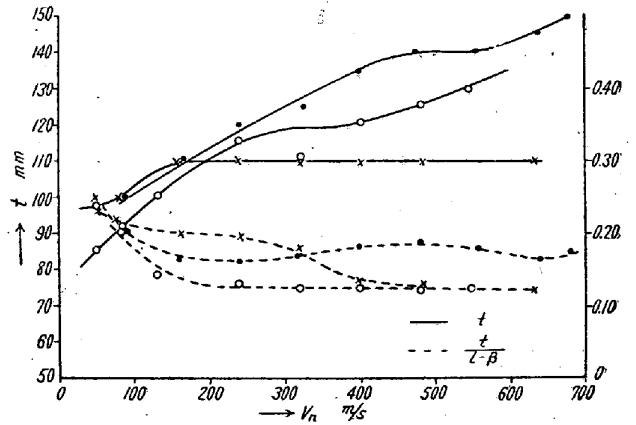
Vn : Gas velocity converted to normal state at the burner tip

Re : Reynolds number at the burner tip

Fig. 6. Flame length vs Vn and Reynolds number

3) 焰の温度について

焰の温度は白金線熱電対で焰を約 100 mm 毎に分け



t : Diameter of flame

Fig. 7. $Vn-t, t/(L-\beta)$

中央部と外周部について測定し、焰の体積の割合について荷重平均をとつたものである。

スロート付バーナーチップの径を変え、 $V_a, P, (L-\beta)/D$ と火焰温度との関係を調べた結果を Fig. 8, 9, 10

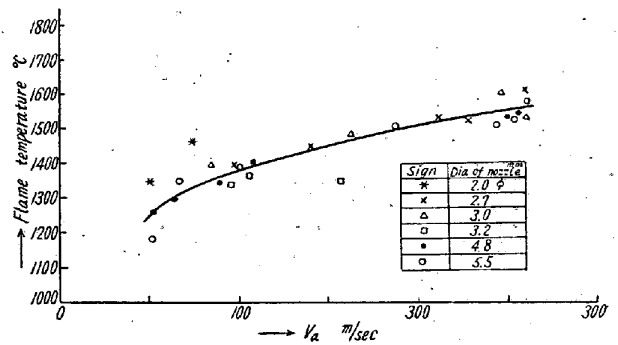


Fig. 8. Relation between flame temperature and V_a

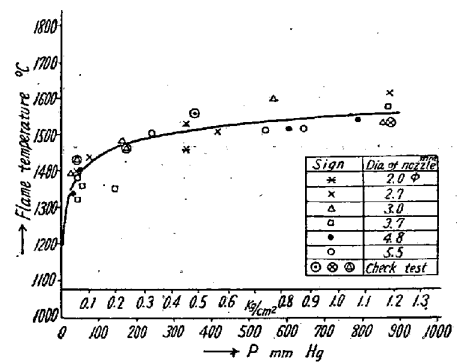


Fig. 9. Relation between flame temperature and P .

に示す。 V_a の増加と共に火焰温度が増加するのは、焰の大きさの増大する割合に比し、燃料ガスの供給量増加割合が大きく熱発生源が密となり、かつ V_a の増大と共に空気との混合が一層促進されるためと思われる。同様に P の増加と共に火焰温度も増加しているが、400~500

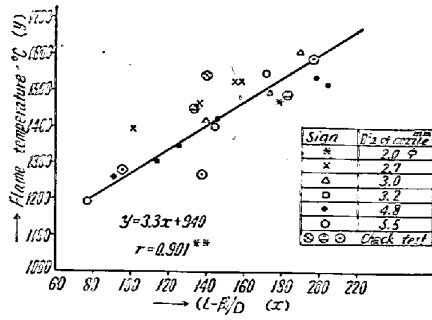


Fig. 10. Relation between flame temperature and (L-β)D

mmHg 以上では大きな増加は見られない。P が大きくなると、Va が一定となつてもコークス炉ガス供給量は増すのであるが、この場合 Va がほとんど変化しない状態であるから空気との混合がこれに伴わず焰の温度上昇は飽和している。焰の長さが増加するとほぼ直線的に温度が上昇しているが、これは焰の長さが Va の増大に従つて伸びていることから当然といえる。

4) 火焰の指向性について

バーナー圧を変えた場合の焰の形状の変化を Photo 1 に示す。P が約 0.7 kg/cm² で焰が真直ぐとなり強い指向性を帯びる事が判つた。比重の小さいコークス炉ガ

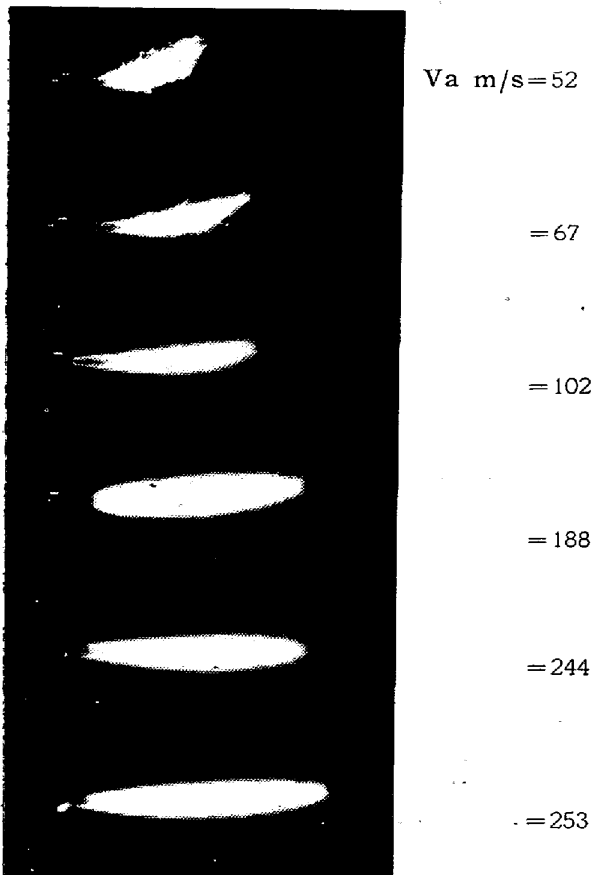


Photo 1. Effect of gas pressure on flame length. Nozzle dia. 5.5mm

スの焰は Photo 1 (a) に示す如く浮き上り、これは炉の天井損傷に重大な影響を及ぼしていたが、高圧にし焰に指向性を持たせる事により天井損傷を軽減し得ると推定された。

5) 溶解試験について

試験平炉により、銅管を積み重ねて溶解試験を行った。試験には圧力 1 kg/cm² の場合と 0.2 kg/cm² について行つたが、前者の場合はその熔け方が切削したようであり、高圧コークス炉ガス焰は極めて切削効果が大い事が判つた。試験溶解結果を Photo 2 に示す。この切削効果は高圧コークス炉ガスの炉内堆積物への伝熱の良好な事を示しており、実際の平炉作業に於て装入時間の短縮に極めて有効であると考えられる。



Photo 2. Photograph shows cutting effect.

以上よりガス圧を上げ、Va を大きくして指向性の強い伸びのある焰を形成すれば、温度の高い且つ炉体保持上有利な焰が得られ、屑鉄の溶解に効果的である事が結論された。このためにはバーナーチップは出来るだけ圧力損失の少ないものを選ばなければならない。併し如何なる形状のバーナーチップでも圧力 1 kg/cm² 前後では Va は一定値に達し、Fig. 9 の如く圧力を上げて焰の温度は上らず却つて不利になる。従つて本試験の結果バーナー圧力は 0.7~1.0 kg/cm² が適当ではないかと考えられた。

6) バーナー径の算定

バーナーの選定は炉の燃焼状態に大きな影響をおよぼすゆえ、バーナーの設計に当つては前記の事を考慮して次の如く径を決定した。バーナーの断面は楕円形、円形が考えられたが、実際には焰の形成には殆んど相違を来さないといわれているので工作し易い円形断面とした。

径の決定にあつては次の2項目に着目した。

- (i) 所要のガス量が充分に入る事。
 - (ii) 最も有効な焰を形成し得るガス速度を与える事
- ある一定流量を流す場合の P-Va-D の関係は次式により求められる。

$$\frac{Q}{3600} \times \frac{P}{760 + P} \times \frac{1}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{1000}\right)^2} = Va$$

例えば $Q=5000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ として各径について求めたものを Fig. 11 に示した. 併しバーナーは固有の P-Va 特性を有しているので, Fig. 4 の曲線を更に Fig. 11 に重ねて示した. 両曲線の支点は (i) を満足する事になり, (ii) の条件を考えた場合更に Va が適当である必要がある. ほゞ最高の Va が得られる範囲は $P > 600 \text{ mmHg}$ であり, $600 \text{ mmHg} < P < 1000 \text{ mmHg}$ の範囲で交点の得られる径は 55 mm , $60 \text{ mm}\phi$ となる. そこで現場において 65 mm , 60 mm , $58 \text{ mm}\phi$ のノズルで実際に試験し, バーナー圧力と流量の関係を求めた, その結果 1 kg/cm^2 のノズルの流量 $Va = 250 \text{ m/s}$ なる推定値が得られた. 更に標準流量 $= 4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ としてノズルの径を計算した所, $53.2 \text{ mm}\phi$ となつたので実際には $55 \text{ mm}\phi$ とした. 参考までに $Q = 4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ の P-Va-D の関係を示すと Fig. 12 の如くなり, $55 \text{ mm}\phi$ のバーナーはほゞ 1 kg/cm^2 附近で交点を得られる事がわかる.

因みに $Q = 4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ の場合について次式を使用しモーメントフラックスとバーナー径の関係を求めた.

$$M = r \cdot Va \cdot (Q/3600)$$

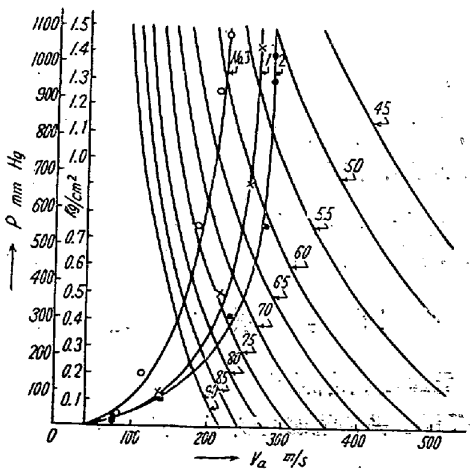
M: モーメントフラックス kg m/s

r: ガス密度 kg/Nm^3

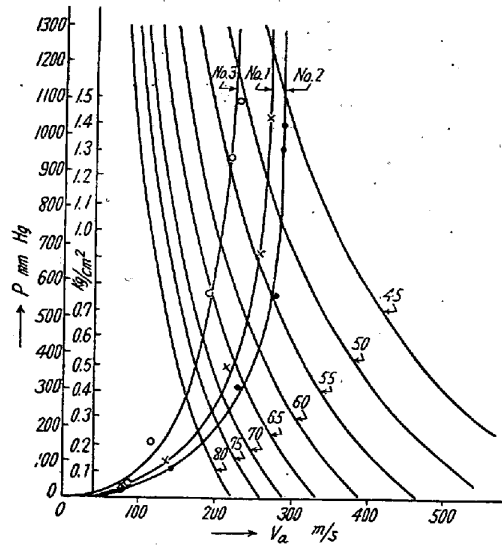
Va を $Q = 4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ の P-Va-D 関係図と Fig. 4 No. 1 曲線との交点より求め, M-D 関係曲線を Fig. 13 に示すと, 径の小くなるに従つてモーメントフラックスは増大し, $4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ では $50 \text{ mm}\phi$ でほゞ最大となる事がわかつた.

III. 結 論

以上高圧コークス炉ガス操業法を実際操業に移す前に



Q: Coke gas flow Nm^3/h .
Numerals indicate the dia of the burner (mm)
Fig. 11. P-Va-D ($Q = 5000 \text{ Nm}^3/\text{h}$)



Numerals indicate the dia of the burner (mm)
Fig. 12. P-V-D ($Q = 4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$)

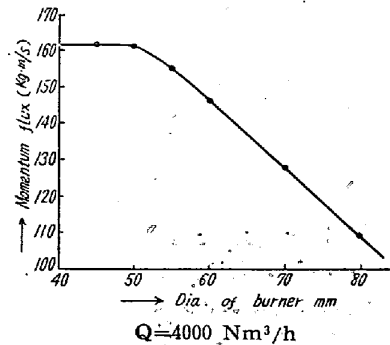


Fig. 13. Relation between momentum flux and dia of the burner at constant flow.

行つた予備試験及びノズル径算定法について述べたが, その結果次の事がわかつた. 実験したガス圧力範囲では

- i) バーナー圧力が 1 kg/cm^2 前後において Va はほゞ一定値に達する.
- ii) バーナー圧力を上げ Va を増すと焰の長さは伸びる.
- iii) 焰の平均温度はバーナー圧力及び噴出速度が増加し. $(L-\beta)/D$ が大となる程上昇する.
- iv) 低圧コークス炉ガスの焰は浮き上がるが, 0.7 kg/cm^2 位になると焰は指向性を帯び真直ぐになる. 指向性のある焰は, 炉体保持上有利であると同時に装入物の切削効果を有している.

v) $4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ の場合モーメントフラックスはバーナー径約 $50 \text{ mm}\phi$ で最大となりほゞ一定値に達する.

以上よりバーナー圧を 1 kg/cm^2 前後とし, 噴出速度大なる焰にすべきであるとの結論に達し, 予備試験で求めた P-Va 曲線を利用し, バーナー径の概略を求め,

更に現場試験を行つて最終的に径を決定した。Fig. 13 には 50mmφ でモーメントフラックスが最大に達しているが、使用中の閉塞等を考慮に入れると現在の 55 mmφ位が適当であると考られる。

最後に臨み本試験遂行に当り御協力下さつた各位に対し深甚なる謝意を表する次第である。

(昭和 31 年 8 月寄稿)

酸化チタンを含む溶融スラッグの電気伝導度 (II)*

(FeO—TiO₂ 系)

森 一 美**

THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF MOLTEN SLAGS CONTAINING TITANIUM—OXIDE (II)

(FeO—TiO₂ System)

Kazumi Mori

Synopsis:

A method suitable to measure electrical conductivity of molten slags in the nitrogen atmosphere at temperature as high as 1450°C, using pure iron as the crucible and the electrode, was described. In order to eliminate leads resistance the "four-terminal method" was applied. By this method the electrical conductivity of the FeO—TiO₂ system was measured in the temperature range of 1450~1200°C.

The specific electrical conductivity was 30~300 Ω⁻¹cm⁻¹, which was very high as compared with the conductivity of ordinary ionic conductors. The change of conductivity with temperature in molten state was very small. For the range of high TiO₂ contents in the conductivity-temperature curve an anomalous change appeared in the neighbourhood of the solidifying temperature, which was peculiar to the slags of high TiO₂ contents.

Though conductivities could not be measured in the continuous range of composition owing to the high melting point, it was shown that the conductivity decreased with increase of TiO₂ in the range of TiO₂ contents less than about 40 mol%, beyond which the conductivity increased with enhancement of TiO₂.

Both FeO and TiO₂ are semi-conductors and a similar mechanism of semi-conduction might be predominant in the FeO—TiO₂ system. In the range of low TiO₂ contents the high conductivity was ascribed to semi-conduction concerning Fe ions, while at the high TiO₂ contents the main part in conduction was played by electrons belonging to Ti ions.

The probable forms of ions are presumed to be Fe⁺⁺, Ti⁴⁺ and O⁻⁻, contrary to TiO₄⁴⁻ and TiO₃²⁻ as assumed by O.A. Esin etc.

I. 結 言

第1報¹⁾において TiO₂ を珪酸ソーダに加えて行つた場合の電導度を測定し、その結果 TiO₂ 35 mol %附近まではイオン電導が行なわれ、TiO₂ は直接電導に与からないことがわかつた。これは Ti—O 引力の強いことを顕著に反映したものであつた。然しながら TiO₂ は他面半導体的な挙動を持ち、高チタンスラッグの場合、或いは他の共存成分如何により、この半導体的な特質が現われてくることが期待される。こゝで前報とは趣を変え

て、イルメナイト又は砂鉄から酸化鉄を還元し、TiO₂ の高いスラッグを作る場合の基本をなす FeO—TiO₂ 系の電導度を測定し、TiO₂ の挙動を基礎的に考察した。

II. 実 験 方 法

(1) 電導度測定原理

FeO—TiO₂ 系の電導度測定は種々の面で困難がある。

* 昭和 30 年 4 月本会講演大会にて講演

** 茨城大学工学部金属工学教室