

Fig. 3. Partition coefficient of S vs basicity.

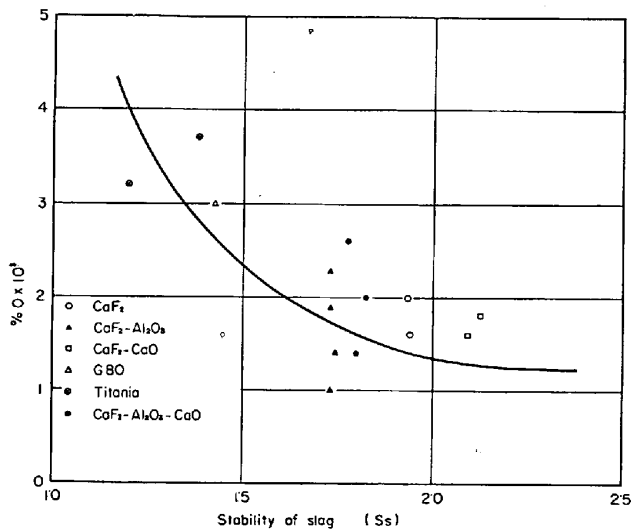
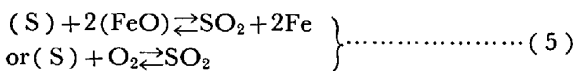


Fig. 4. % O vs stability of slag.



スラグによつて脱硫の程度に差が認められるのは、Sの分配比だけでなく、(4)式または(5)式の反応速度がスラグによつて違うのではないかと考えられる。この点は今後検討していきたい。

3.7 Crの挙動

Crの挙動はCの挙動にやや似ており、底部において減少が認められる。

3.8 Oの挙動

Sと同様に直流による溶解では脱酸が認められなかったが、本実験では顕著な脱酸が認められた。ただし、G80およびチタニア系ではほとんどOの減少は認められない。その他CaF<sub>2</sub>基のスラグではほぼ同程度に減少した。鋼塊内では底部外周部のOがやや高いほかは、ほぼ均一な分布を示した。脱酸の機構は物理的には、スラグによる酸化物系介在物の吸収除去と溶湯プールからの浮揚と考えてよいであろう。化学的には酸化物系介在物がスラグに吸収されるため、その酸化物の活量が低下することにより、脱酸反応がさらに進行して、Oが減少することが考えられる。スラグがSiO<sub>2</sub>、MnO、FeOなどの比較的不安定な酸化物を多量に含有する場合には、

物理的脱酸は期待できるが、化学的には溶鋼中の脱酸元素がこれらの酸化物によつて酸化され、脱酸反応が逆方向に進んで、Oが増加するものと考えられる。そこで、スラグを構成する酸化物の安定性を示す安定度Ss<sup>6)</sup>と%Oとの関係を見るとFig.4のとおりであつて、この考えは一応妥当と考えられる。

3.9 Nの挙動

Nは直流の場合と同様にほとんど減少しない。

3.10 非金属介在物の挙動

清浄度の測定結果はかなりバラツキているが、ほぼOの挙動と同じである。介在物の光学顕微鏡観察およびXMAによる定性分析の結果では、スラグ微粒子の混入によると考えられる介在物もかなり見られた。介在物の挙動に関しては今後定量分析およびサンド分析などによつて漸次明らかにしていきたい。

4. 結 言

交流エレクトロスラグ溶解炉による軸受鋼SUJ-2の100kg型鋼塊に関する実験結果を直流による溶解結果と対比しつつ述べた。交流と直流とのちがいは前者では脱硫脱酸が顕著であるのに対し、後者では脱硫、脱酸がほとんど認められないばかりか、かえつて増加することもある。

文 献

- 1) 草道, 成田, 福原, 小山: 鉄と鋼, 51 (1965) 4, p. 802
- 2) 森: 鉄と鋼, 46 (1960) 4, p.466, 金属学会誌, 24 (1960), p. 383
- 3) J. CHIPMAN, J. B. GERO, and T. B. WINKLER: Trans. Met. Soc, Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 188 (1950), p. 341
- 4) Basic Open Hearth Steelmaking, A. I. M. E., 1964, New York, p. 707
- 5) A. C. WILLIAMS: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), (1962) July, p. 581
- 6) 成田, 伊藤, 松本: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 1948

(71) アーク炉におけるアーク現象について

大同製鋼, 中央研究所 滝波勝文  
高蔵製作所

工博 江口 勇・曾根 定家  
東海電極製造 工博 岡田 純  
Electric Arc Behaviour in Steelmaking Arc Furnaces

Katsunori TAKINAMI, Dr. Isamu EGUCHI  
Sadaie SONE and Dr. Jun OKADA

1. 結 言

製鋼用アーク炉の生産性向上について最近いろいろな研究が進められている。しかし基本的なアーク現象の研究は2, 3の報告<sup>1)~4)</sup>がされているにすぎず、アーク炉のアーク、すなわち大電流アーク現象については十分

に解析されていないのが現状である。今回小形 3 相アーク炉 (容量 100 kg および 2 t) で、16 mm カラーフィルムを用いて毎秒 3000~4500 コマの速度で炉作業中のアークを撮影し、観察検討したので報告する。

2. 試験の内容と結果

2.1 100 kg アーク炉における高速度映画撮影

第 1 相および第 3 相には通常の中実電極を、第 2 相には中空電極 (ニップルは中実) を使用し溶落直後のアークをそれぞれカメラの位置を変えて毎秒 3000~4000 コマで撮影した。また別のチャージで第 2 相にニップルも中空の中空電極を用いて同様の条件下で撮影した。使用電極の外径は 101.6 mm、中空電極の外径は 38 mm で、アーク電圧は電極把持器と鋼浴間のオツシログラフ波形からの概算で約 50V、アーク電流は制御盤上の電流計の指示で約 900A であった。

2.2 2 t 炉における高速度映画撮影

第 2 相アークを対象に、通常作業に使用している先端の消耗した電極の場合と、新品で先端の平坦な中空電極の場合について、同一チャージの溶落直後と酸素吹精直後に電極を差換えてアークを撮影した。また別のチャージで先端の消耗した中空電極と先端の平坦な中実電極を使つて溶落直後に同様にアークを撮影した。使用電極の外径は 203.2 mm、中空電極の孔径は 19 mm で、ニップルは中実を使用した。電極把持器と鋼浴間のオツシログラフ波形からの概算アーク電圧の変化は 40~100V で、制御盤上のメータの指示による電流の変化範囲は 1200~5400A で、これらの組合せをいろいろ変えてそれぞれアークを撮影した。

2.3 アークフレアの化学分析

アークによつて生成された煙状ガスをアークフレアと呼び、これを石英管を通して作業時のアーク近傍から採取し、化学分析した。その 1 例を Table 1 に示す。

3. 試験結果の解析と考察

高速度映画に撮影したアークの観察を中心に、アーク現象をいろいろの角度から検討した。

3.1 アークの点孤状況

Table 1. Chemical analysis of arc flare.

F'ice cap. (kg)	Period	Component (%)				
		CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
100	End of melting	10.7	18.8	2.2	0.6	70.0
2,000	Middle of deoxidizing	10.6	6.6	0.1	2.1	80.6

Table 2. Measurement of arc.

Film No.	Arc volt. (V)	Arc curr. (A)	Max. dia. of arc (mm)	Arc length (mm)	Dist. betw. electrode & bath (mm)	Note
5	100	5,000	15	70	55	} Charge "A"
7	100	3,000	17	95	75	
20	100	5,400	16	75	30	} Charge "B"
22	105	2,500	17	95	35	

電圧の半周期ごとに生滅するアークの点孤状況は、一般に直前の周期のアークスポット付近に新しいアークが生ずることが多いが、長期にわたつての持続性はなく時々遠い位置へスポットが移る場合がある。このことから、点孤を支配している要因として、(1) 直前のアークの残留イオンの分布、(2) 炉内雰囲気や湯面の変動、(3) 電極先端形状の変化、および (4) 他相アークの状態や発生消滅の時間的变化、などが考えられる。

3.2 アークスポットの動き

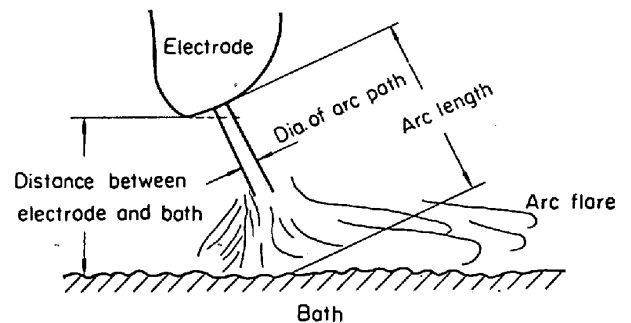
短いアークはスラグにかくれてアークスポットが十分に観察できないが、長いアークについての観察からスポットの動きについては次のようなことが考えられる。

(1) 電極側一黒鉛は高融点 (約 3700°C) であるから電極電位が負の周期では熱電子放出形となつて、いわゆる陰極点の膠着現象<sup>5)</sup>を示してアークスポットは固定しやすい。陽極点は一般に陰極点よりも高温になつていて、高電流密度になると陽極点からの蒸発が促進され、電極形状の変化が大きいので正の周期ではスポットは動きやすく、アークフレアは負の周期よりも多く発生する。

(2) 湯面側一負の周期にはその融点が低いのでむしろ電界放出形の電子放出機構となり、湯面の変動に伴う電界の変動でスポットの位置は移動しやすく、正の周期では湯面スポット部からの蒸発による圧力や温度の変化のために湯面状態が変動してスポット位置は動きやすくなる。

3.3 アークの径路

アークの長さおよび径とアーク電流・電圧との関係については、低電圧アークはスラグの中にかくれて観察が困難なため広範囲な電圧の影響をみることはできなかったが、代表例についての画面上の測定結果を Table 2 に示す。測定条件は Fig. 1 の通りである。



(A picture of arc at max. dia. of arc path)

Fig. 1. Measurement of arc path.

Table 2 からわかることは、いずれもアーク電圧はほぼ同じであるが、電流は著しく異なっている。しかしアーク柱の径はほとんど変化なく、したがって電流密度が著しく変化したことになる。溶解条件の異なる別々のチャージでは数値の比較ができないが、同一のチャージでは電極湯面間距離、あるいはアーク長が短い方が明らかに電流密度が増大している。この傾向はアーク電流が増大すると電流の増加分だけ自から作る磁界が増大し、ピンチ効果が強くなるので、アーク径の増加ではなく電流密度の増加が招かれるものと考えられる。アークの径路は一般に湯面上の足が炉壁の方へ吹かれている場合が多く、この現象の最大の要因としては他相アークの電流による電磁力の影響が考えられる。ここで、アークの径路を計算で求めてみる。簡単にするために電極から湯面へ向かう電子1コを考え、電子に働く力としては電極と湯面間の電界と、他の2相の電流による磁界だけの理想化した条件を想定する。電極先端の電子放出点を原点とし、磁界により電子が受ける力  $f_m$  の方向を  $x$  軸に、電界により電子が加速される力  $f_e$  の方向に軸をとる。ここに力は次式で表わされる。

$$f_e = eV/d \quad (N), \quad f_m = euB(N)$$

ただし、 $V$  : 電極湯面間の電圧 (V)

$d$  : 電極湯面間の距離 (m)

$e$  : 電子の電荷 ( $=1.6 \times 10^{-19}$  グーロン)

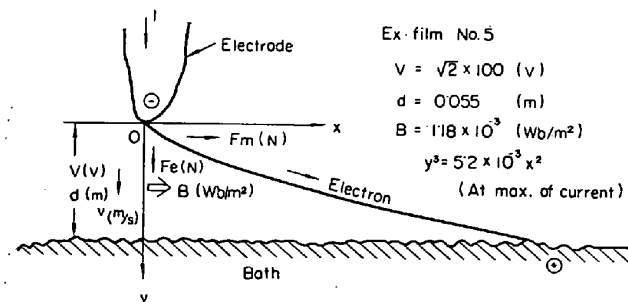


Fig. 2. Electron path between electrode and bath.

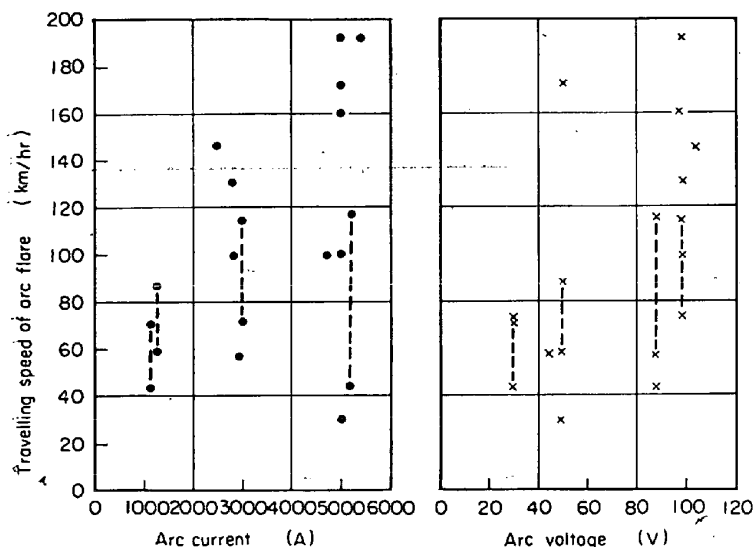


Fig. 3. Travelling speed of arc flare vs. arc current and voltage.

$u$  : 電子の  $y$  方向の速度 ( $=eVt/md$  m/s)

$m$  : 電子の質量 ( $=9 \times 10^{-31}$  kg)

$t$  : 放出されてからの経過時間 (S)

$B$  :  $y$  軸上の  $y=0$  から  $y=d$  間の平均磁束密度 (Wb/m<sup>2</sup>)

これらの関係から電子の軌跡を求めると、

$$y^3 = (mv/2edB^2)x^2$$

で表わされる。Fig. 2 に示す軌跡は具体例 (Film No. 5) についてアーク電圧最高点で電流が 3 相平衡しているとして求めたものである。

### 3.4 アークフレア

アークフレアの発生原因はフレアの分析結果の助けをかりて次のように推察される。

(1) 電極側一正の周期には陽極点の高温のために電極から蒸発した CO や CO<sub>2</sub> および炭素粒子が爆発的に電極から吹き出し、負の周期にはアーク径路の電流密度が陽極点付近ではその近くよりも一段と高いので電子通路内に圧力差が生じて、いわゆるジェット気流<sup>9)</sup>が発生して、それにより電極先端部から削り取られた炭素が微粒子または CO, CO<sub>2</sub> ガスとなつて溶鋼面上に吹きつけられる。

(2) 湯面側一正の周期には溶鋼からの陽極蒸気流は電極からのアークに押されて溶鋼面上に拡がり、負の周期には陰極点付近が大きな平面で、かつスラグがまわりに存在するためにジェット気流の発生が妨げられる。したがって電極におけるほどの強く吹き出すフレアは生じない。フレアはアークの衝撃力、陽極蒸気流、陰極のジェット気流、ガスの熱膨張や濃度の差による拡散などにより移動し、特にアーク径路の方向へより多く拡散する。

またフレアの拡散に伴つて濃度が薄くなるので光の吸収度が異なつて黄色から白色に変つていく。2 t 炉の場合のアーク近傍でのフレアの移動速度 (画面への投影速度) を画面上で測定し、結果をアーク電流および電圧について Fig. 3 に示す。これによると最高移動速度は、そのアークの電流および電圧に依存するようである。

### 3.5 中空電極の効果

中空電極に関して 2, 3 の報告<sup>10)</sup> がされている。今回アーク現象の面から 100 kg 炉の場合について考察を進めた。中空電極では、電極先端の内表面が保熱の点から高温になりやすく、この点にスポットが発生しやすい。また相対表面積が増大するため電極の消耗が速くなり、スポットの動きも激しくなる。電極先端部の電流の通路やスポットの位置などに影響されるものと思われるが、アークがカーテン状に分散することが多く、またその径路は垂直に近くなる。フレアも一部が中空孔に引き込まれるために、拡散は弱くなる。これらの中空電極の特徴は中空孔を全通 (ニップルも中空) にした場合にはより強く現われる。これはフレアの一部が中空孔を通つて上方外部へ吹き出されることに一因があると考えられる。また中空電極の使用では、孔径の適切な選定が必要であろう。これは 2 t 炉の中空電極で明確な影響の認められなかつたことから推察できる。

### 3.6 電極先端形状の影響

使い込んだ先端の丸い電極の場合はアークは円柱状であるが、先端の平坦な電極ではアークがカーテン状に拡がることが多い。これはアークスポットはその電流に応じて電子放出のために、ある広さを必要とすると考えられ、使い込んだ電極では先端部の角が無くなっているためアークスポットが円状に拡がって、アークの経路もその中心から円柱状に伸びる。しかし先の平坦な電極では先端円周の角で電界が局部的に不均一になるため、この点での電子放出が容易となり、また他相電流による磁界の影響や表皮効果も加わって、スポットはこの部分に発生しやすく、必要な面積を確保するために円周に沿って細長いスポットを形成する。そのためにアーク径路もスポットに応じてカーテン状となる。

#### 4. 結 言

小形アーク炉における溶落後の短時間(約1 sec 間)を対象にしているため、アーク炉アークの一断面を観察したにすぎないが、アーク現象に極性の影響が大きいこと、フレアが主に電極から生じていて、その最高移動速度がアーク電流・電圧によって決まるらしいこと、アーク現象が電極先端形状によって大きく支配されることなどがわかった。

#### 文 献

- 1) W. E. SCHWABE: Vfh UIE, N.123
- 2) H. KRABIELL: Vfh UIE, N. 134
- 3) K. KEGEL: Electrowärme, 22 (1964) 10, p. 357
- 4) H. HARTMANN: Electrowärme., 23(1965)3, p. 84
- 5) 電気学会: 放電現象, 昭 37
- 6) 安藤・長谷川: 溶接アーク現象 昭37, 産業図書
- 7) W. E. SCHWABE: Iron & Steel Eng., (1957) 6, p. 84
- 8) F. HARMS and K. FRÖBRODT: Stahl u. Eisen, 85 (1965) 2, p. 72

### (75) 低炭素リムド鋼溶製時の窒素の挙動について

住友金属工業, 和歌山製鉄所

池田 隆果・〇丸川 雄浄

On the Behaviour of Nitrogen during the Production of Low Carbon Rimmed Steel

Takami IKEDA and Katsukiyo MARUKAWA

#### 1. 結 言

冷延鋼板の時効性にNが大きな影響をもつということは、周知のことである。製鋼関係者にとって、このNを低下させることが、現在大きな問題の1つになっている。

この論文は、溶銑からはじまって、冷延鋼板にいたるまでの40数チャージの一連試験の結果を中心にしてまとめたものである。

ここで押えた試験は、次の諸点にわたっている。

- (1) 溶銑中Nの分析
- (2) 吹錬用O<sub>2</sub>中のN<sub>2</sub>のガスクロマトグラフィーによる分析
- (3) 終点溶鋼成分(C, N)の分析

(4) 銑込終り銑型内溶鋼成分(C, N)の分析

(5) 蓋置前銑型内溶鋼成分(C, N)の分析

(6) 冷延鋼板M部成分(C, N)の分析

また、吹錬途中の溶鋼サンプリングを特殊装置を用いて行なつた。その他、チャージ数は少ないが出鋼後の鍋中のサンプリングも行なつている。

試験の対象とした製鋼炉は、和歌山製鉄所 160 t 転炉(未燃焼ガス回収式転炉)であり、13~17 t 扁平銑型に銑込んだ。またN分析はJIS容量法によつている。

### 2. 吹錬終点の溶鋼中Nにおよぼす吹錬諸条件の影響ならびに吹錬中のNの挙動

#### 2.1 溶銑中Nの終点Nにおよぼす影響

溶銑中のNは、 $30\sim 70 \times 10^{-4}\%$ と非常にバラツキが大きいが、終点Nにはあまり影響がなかつた。この結果は、富士鉄りの結果と同じである。

#### 2.2 吹込み酸素中の微量N<sub>2</sub>の終点Nにおよぼす影響

試験チャージの吹錬中期のO<sub>2</sub>ガスを転炉工場パルプセンターで採取し、ガスクロマトグラフィーで分析した。酸素中のN<sub>2</sub>の分析値と終点Nとの関係を見ると、Fig. 1に示すごとく、バラツキは大きい、右上りの傾向がみられ、N<sub>2</sub>(vol.%)の少ないときと多いときで、終点Nに $3\sim 4 \times 10^{-4}\%$ 程度の差ができる。ただし、この試験における、ガスクロマトグラフィーによる微量N<sub>2</sub>分析の絶対値の精度には、若干の問題<sup>2)</sup>がある。

#### 2.3 吹錬中のNの挙動

吹錬中のNの挙動に関しては、いろいろの説がある。川鉄の報告<sup>3)</sup>によれば、初期若干の脱窒があり、中期はほとんど脱窒しないか、もしくは、N付加がみられ、末期になつて、また脱窒が進行するという結果がある。この吹錬中の窒素の挙動は、脱炭反応のメカニズムとも関連しているため、和歌山転炉における吹錬途中サンプリングを用いて、吹錬中の脱窒状況を検討した。試験結果をFig. 2に示した。吹錬初期に脱窒が急速に進行している。吹錬中期から末期にかけては、溶銑中のN%が低下するにつれて、脱窒速度が小さくなり、徐々に脱窒が進行している。吹錬末期になると逆に窒素付加がみられるチャージがある。このNの挙動から、吹錬末期を除き、脱窒はCOパブルの洗浄作用によつて進行し、脱窒速度は、溶銑中のN濃度に大体一義的にしたがるようである。

#### 2.4 吹錬末期におけるNの上昇

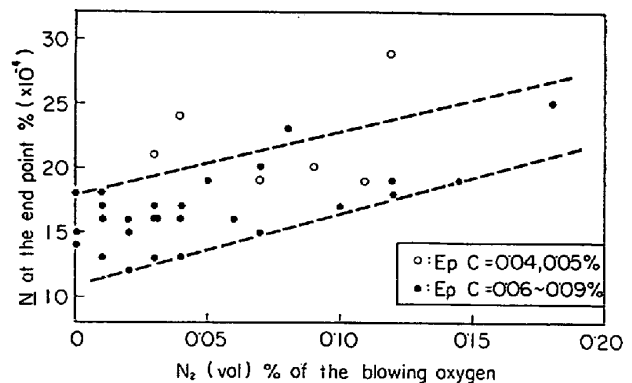


Fig. 1. Effect of the N<sub>2</sub>(vol) % of the blowing oxygen on the end point N.