

文 献

- 1) 渡辺: 鉄と鋼, 47 (1961) 12, p. 1670
- 2) 川畑, 渡辺: 鉄と鋼, 47 (1961) 5, p. 715
- 3) 草川, 大谷: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1472
- 4) PIERRE et ali.: Trans. of the Vacuum Metallurgy Conference, (1959), p. 81
- 5) W. A. FISHER: Stahl u. Eisen, 82 (1962) 22, p. 1541

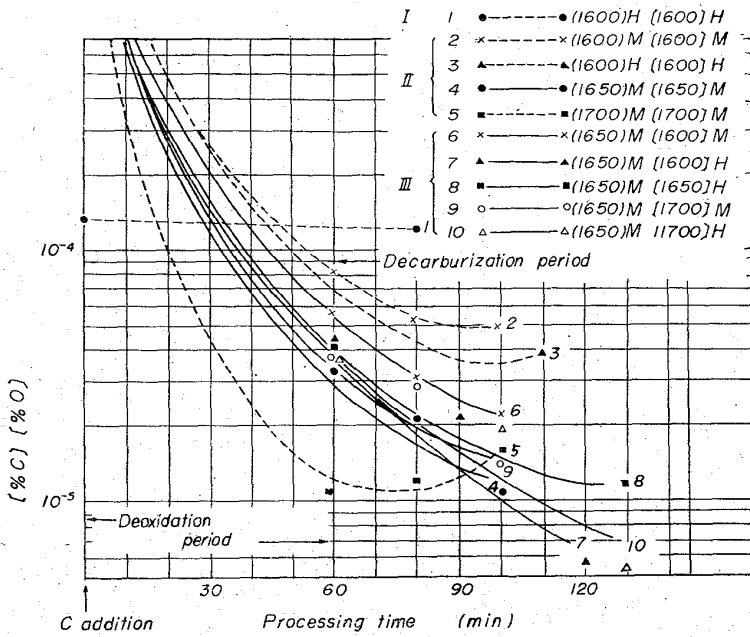


Fig. 4. Change of [%C][%O] during carbon deoxidation.

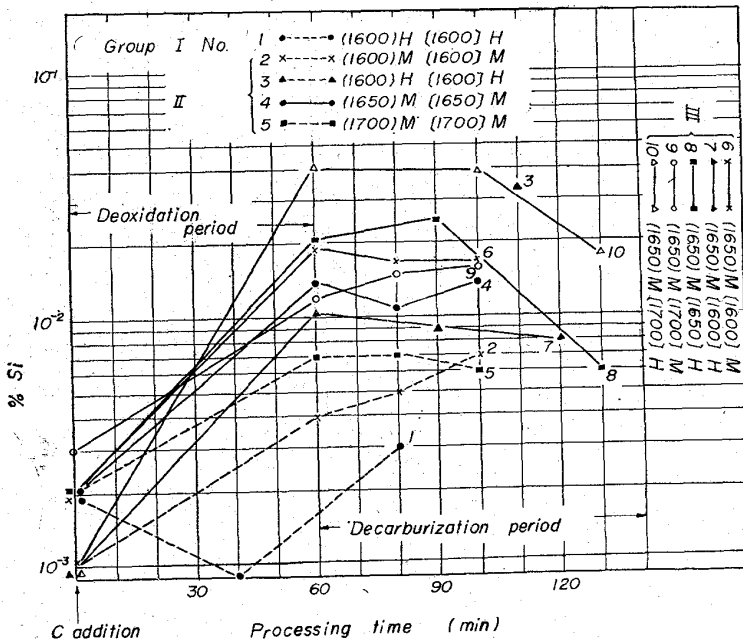


Fig. 5. Change of Si during carbon deoxidation.

669.187.2:533.9

(71) プラズマ製鋼炉の設計製作と稼働結果について

(プラズマ製鋼炉開発研究-I)

大同製鋼, 中央研究所

上中 正一・野崎 善蔵

工博 江口 勇・○徳井 輝雄

On the Development and Operation of ht Plasma Jet Furnace.

(Development of the plasmajet furnace-I)

Shoichi UENAKA, Zenzo NOZAKI,

Dr. Isamu EGUCHI and Teruo TOKUI.

1. 緒 言

プラズマジェットは最近各方面から注目され, その応用研究が活発になつている. 現在実用段階に入つた応用例は, わが国においては溶接・溶断などである. 米国・英国においてはさらに溶解炉の開発が行なわれている。

筆者らは, プラズマジェットのもつ超高温, 不活性雰囲気ガスに注目し, これを鋼の溶解精錬に利用することに着手した。

本報告はプラズマ製鋼炉の開発およびその溶解実験の諸結果について述べたものである. 溶解された鋼の品質については第2報でのべる。

2. プラズマジェットの原理

プラズマジェットの原理については一般に次のように考えられている。ステンバック (Steen Back) の最小原理によれば一定電流が流れている場合、アークの陽光柱はみずから電力が最小になるようにその半径または温度を調節して平衡状態になっている。これは具体的には次のようなことを意味している。プラズマジェットはアークの陽光柱を軸方向気流で強く冷却されているため陽光柱の半径が小さくなる。したがって気体分子相互および電子と気体分子の弾性衝突が非常に激しくなり、平均熱運動速度が早くなり熱電離がすすむ。この循環からガスの高温化が促進される。

3. プラズマジェット発生装置の製作

3.1 プラズマジェット発生機構のタイプの決定

プラズマジェットを発生させるタイプにはトランスファタイプ (Transfer Type) とノントランスファタイプ (Non-Transfer Type) とがある。本研究の最初の課題はこの2つのタイプのうちどちらを利用するかにあつた。溶解の場合は、トランスファタイプが優利であると判断した。この第一の理由は予備実験によつて、トランスファタイプのほうが溶解力をもつていると判断したからである。

3.2 プラズマジェットトーチの設計製作

プラズマジェットトーチ (以下トーチと称する) の設計上の問題点は、

- ① 高温雰囲気耐えること、
 - ② ピンチ効果が十分起る噴出口径を決定すること、
- などである。

設計製作については、従来のトーチの技術に、L・D 転炉用酸素吹精ランスの設計技術を加味して問題の解決にあつた。このトーチは大阪電気株式会社と共同で作られ後にも述べるように十分満足すべきものとなつた。トーチの諸元は次のごとくである。

- 許容電流: 1000A
 - 冷却水量: 12 l/min
 - 作用ガス: アルゴン・窒素・水素など
 - 電極: トリウム入りタングステン
 - ノズル口径: 10 mm φ
 - ノズル材質: 銅
- トーチの概略図は Fig. 1 に示す。

3.3 電源部

従来の溶接材の電源が持つている垂下特性を備えた電源を採用した。諸元は次のごとくである。

- 定格一次電圧: AC 200V × 2
 - 定格入力: 100 kVA × 2
 - 周波数: 60 cps
 - 相数: 3相
 - 二次無負荷電圧: DC 200V × 2
 - 定格負荷電圧: DC 100V × 2
 - 定格二次電流: DC 500A × 2
- 溶解のための電気回路図は Fig. 2 に示す。

4. プラズマ製鋼炉の設計・製作

4.1 プラズマジェット溶解の特徴

プラズマアークは溶解にとつて都合のよい、指向性と安定性という特徴をもつている。次にこれらについて述

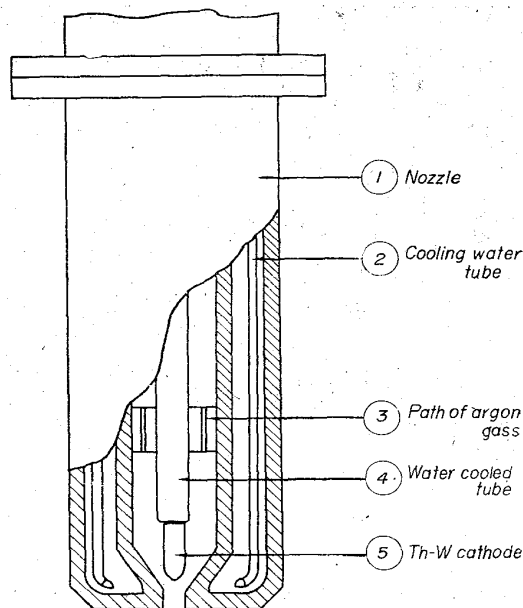
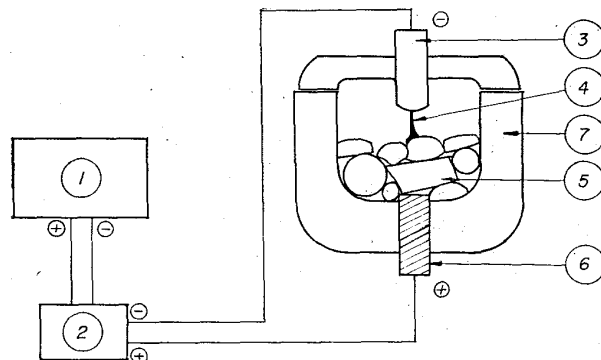


Fig. 1. Plasma jet torch.



① D. C. power source, ② Control box, ③ Plasma jet torch
④ Plasma arc, ⑤ Scrap, ⑥ Graphite anode, ⑦ Furnace.

Fig. 2. Circuit of a plasma jet furnace.

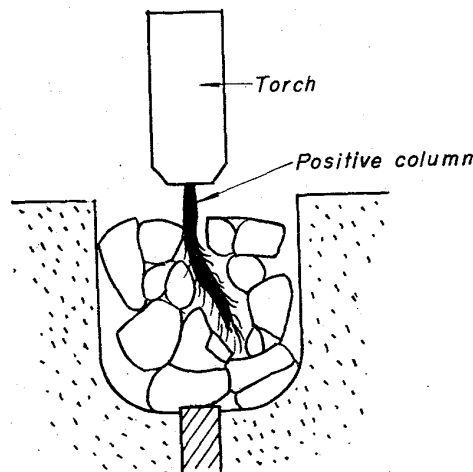


Fig. 3. An example of the positive Column's path in the melting periode.

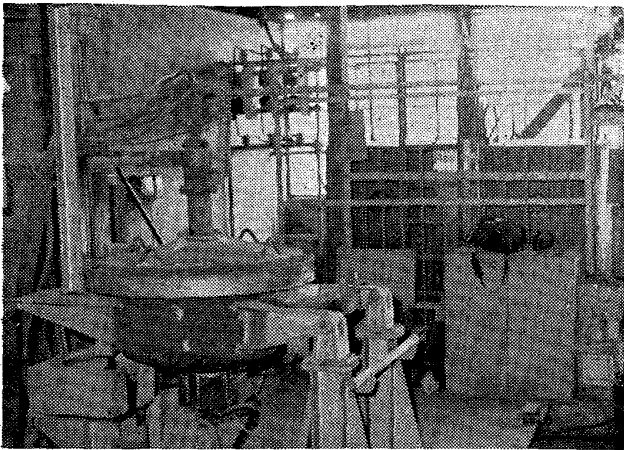


Photo. 1. Plasma jet furnace.

べる。

4.1.1 プラズマアークの指向性

普通のアークは正負両極間の最短距離に発生する。プラズマジェットの場合は、プラズマアークがジェット気流の方向に強制され、必ずしも最短距離間には発生しない。この性質は溶解に際しては、長い陽光柱が被溶解物に包まれてしまうという熱的に有利な結果をもたらす。一例を Fig. 3 で示す。

4.1.2 プラズマアークの安定性

プラズマジェットは常に電離気体をもつて自己のルートをつくっているため、非常に安定である。最大 25~30 cm のプラズマアークを維持することができる。これはアーク炉のアークと比較して非常に長いものである。したがって溶解中に、被溶解物の変動でアークの長さが伸びても、アーク炉のアークのように断切れることはないため、溶解にとつて非常に有利である。

4.2 炉の設計方針

前節で述べた特徴を考慮に入れた炉を設計するに際しさらに次のことを考慮に入れた。それは炉内雰囲気保持である。プラズマジェット用気体にアルゴンを使つた場合には、溶解中に炉内雰囲気を保持することは、鋼の汚染を避ける意味で非常に有利である。このため、サンドシール法を用いることにした。また不活性雰囲気中で鑄込みが簡単にできるように、傾動方式をノーズチルト方式にした。

4.3 プラズマ製鋼炉の概要

プラズマ製鋼炉の外観は Photo. 1 に示す。

4.3.1 炉の諸元

炉容: 80 kg

内径 500~350 mm ϕ

深さ 約 400 mm

炉容は一定ではなく溶解実験中に少しづつ変化させ最適炉径を求めていった。

4.3.2 炉底電極

トランスフアタイプのプラズマジェットを熱源とした炉であるため炉底電極が必要である。従来のシロー (Glrod) 式炉の欠点は炉底電極の破損と炉底電極周囲からの湯漏れおよび溶鋼のカーボンキャッチである。これらを守るために炉底電極の形を凸形にし、電極が溶鋼に接する面積をなるべく少なくした。

5. プラズマ製鋼炉の稼働結果

5.1 溶解消費電力

溶解の諸条件によつて溶解消費電力に差が生じるが、500 kWh/t から 2500 kWh/t という広い範囲になっている。このうち連続稼働の場合の平均値は約 980 kWh/t である。将来大型プラズマ製鋼炉に発展した場合、アーク炉の実績から類推すれば、現段階でこのような値であることは心配しなくてよいと考えられる。

5.2 トーチ冷却水

トーチ冷却水の持ち去る損失エネルギーは、当初溶解電力の 25% を示した。トーチ内における冷却水の流れ方を改良することにより、15%程度に押える基本的方策をつかむことができた。

5.3 最適炉内径

平均 80 kW の瞬時出力をもつトーチに対する最適炉内径は、いろいろの実験の結果 400~350 mm ϕ にあることがわかった。これより大きければ溶解消費電力 [kWh/t] が多くなり、小さくなれば耐火物の損傷が大きくなる。

5.4 アルゴン流量の影響

プラズマ用気体は、窒素・水素・炭酸ガスなどいろいろあるが、本実験ではアルゴンを使用した。流量を 40 l/min から 150 l/min に変化させても溶解消費電力に大きな差はなかつた。しかし 30 l/min 以下では、アークが不安定になり溶解消費電力が大きくなり、陰極材料の消耗がはげしくなる。

5.5 炉底電極

水冷可能になるよう設計したが、その必要は全くないことがわかった。心配された消耗はなく、溶鋼への溶け込みも低炭素鋼の溶解においてさえないことがわかった。

5.6 トーチ

初期の 10 チャージ目 (延べ 25hr) で少しの水漏れをおこした。これは溶接箇所がゆるんだためであり、溶接を強化することにより以後 180hr はなんら損傷なく稼働させることに成功した。陰極材料のトリウム入りタングステンは 0.1 mm/1 チャージの割合で消耗していく。これはなんら問題とならない。トーチの噴出口の直径も変化をうける。この変化にともないプラズマアークの太さやピンチ効果に影響があらわれてくる。この結果から最適口径を導き出すことができた。

6. 結 言

プラズマジェットの超高温と不活性雰囲気に着目し、高品質の鋼を早く溶製する目的でプラズマ製鋼炉の開発に着手した。

基礎実験により、プラズマジェットのもつ指向性と安定性が溶解に有利であることを確かめ、この2つの特徴を生かした炉を開発した。また実際に稼働することにより次の事柄が明らかとなった。

① 溶解消費電力は、小容量の炉でありながら連続稼働の場合は 980 kWh/t である。

② トーチは十分に耐久力がある。

③ 炉底電極は水冷なしで危険な状態にならない。

④ 陰極はほとんど消耗しない。

なお経済性については、さらに大きな炉での稼働デー

タを待たないと結論は出ない。

文 献

- 1) R. J. McCULLOUGH: J. Metal, (1962), p. 907.
- 2) 山本, 長谷部: 電子管工学Ⅱ, (1955), p. 95
[コロナ社]

669.187.2:533.9

(72) プラズマ溶解した SUJ 2 の品質
について

(プラズマ製鋼炉の開発研究—Ⅱ)

大同製鋼, 中央研究所

野崎 善蔵・○加藤 剛志
徳井 輝雄・鈴木 信雄

On the Steel Qualities of SUJ 2 Remelted by
Plasma Jet Furnace.

(Development of the plasma jet furnace—Ⅱ)

Zenzō NOZAKI, Kōsi KATŌ, Teruo TOKUI
and Nobuo SUZUKI.

1. 緒 言

第 1 報においてプラズマ製鋼炉を設計, 試作して溶解試験を行ない, ①プラズマジェットによる鋼の溶解は可能であり, とくに ② 小型炉の場合は同程度のアーク炉と比べて操作が簡単であることを報告した。

本報ではこのようにして開発製作したプラズマ製鋼炉を用いて, プラズマアークのもつ大きな特徴である超高温ならびに不活性ガス雰囲気というものが溶製された鋼の品質向上にいかに関与したかということを確認した。その結果は介在物, 地キズなどの点で秀れた品質を得ることができ, プラズマ製鋼炉の設計, 試作が順調に進んだことが確認されて, 実用的な意味でのプラズマ製鋼炉というものの形を作り上げることができた。

2. 実験方法

2.1 供試材の溶解および加工

Table 1 に示すような S および [O] 含有量が低目の SUJ 2 材と高目の材料をそれぞれ, 溶解母材として 65 kg ずつを第 1 報で報告したプラズマ製鋼炉で再溶解した。途中, 成分調整のために鉄鉄 2 kg, Fe-Si 36 g, および Fe-Cr 49 g を添加した。溶解条件は平均電流約 700A, 平均電圧約 100V, Ar ガス流量約 55 l/min であり, 溶落までの時間は No. 02 で 55 min, No. 06 の場合 70 min であつた。溶落後, 約 1hr 保持して成分調整, 温度調節ののち, 1600°C で出鋼して 70kg 丸型鋼

塊鑄型に鑄込んだ。

得られた供試材の化学成分を Table 1 に示した。各鋼塊は 1250°C で 15hr ソーキングの後, 片面 5mm ずつ旋削してから鍛造して 92mm 角 (加工比 2.4) とした。これを 780°C で軟化焼鈍後, 鋼塊中部相当部より, 地キズ試験, マクロ試験, ミクロ組織調査, 介在物調査等の試験片を採取した。No. 02 についてはさらに 9.5mm 丸に圧延後, 球状化焼鈍してから 7.6mm 丸に線引, さらに焼鈍後, 7.6mm 丸に線引して線材として球状化状態調査, 硬さ測定, 焼入試験などに供した。

2.2 品質調査

92mm 角供試材についての各種品質調査は次のように実施した。

(1) 非金属介在物……JIS 法清浄度および長さ 100 μ 以上の A, B 系介在物と厚さ 10 μ 以上の C 系介在物の一定面積 (10 mm²) 当りの個数を測定した。

(2) 顕微鏡組織……鍛造状態で研摩後, 5% ピクラルでエッチして炭化物の状態を観察するとともに別に試験片を採取して JIS 浸炭法で浸炭後, オーステナイト結晶粒度を測定した。

(3) 横断面マクロ組織……50%塩酸煮沸法でマクロ組織を現出せしめて観察した。

(4) 地キズ……JIS 三段削法によつて判定した。念のために No. 06 材について供試材の一部をさらに 40 mm 丸まで鍛伸して地キズ試験を行なつた。

次に No. 06 の 9.5 mm 丸ないしは 7.6 mm 丸線材についてはつぎのような品質調査を行なつた。

(1') 炭化物の球状化状態 (7.6 mm 丸)。

(2') 顕微鏡組織 (9.5 mm 丸)……圧延状態で 92 mm 角の場合と同様に炭化物の状況とオーステナイト結晶粒度を浸炭法で測定した。

(3') 非金属介在物 (9.5 mm 丸)……方法は 92 mm 角の場合と同じ。

(4') 横断面マクロ組織 (9.5 mm 丸)……方法は 92 mm 角と同じく 50% 塩酸煮沸法。

(5') 焼入試験 (7.6 mm 丸)……600°C でそれぞれ 10 min 間, 予熱後, 820, 840 および 860°C で 20 min ずつ加熱後, 油冷して硬さ (HRC) と残留炭化物量を測定した。(3000 倍の写真上において point counting 法で測定)

3. 実験結果および考察

3.1 化学成分およびガス含有量について

No. 02 および 06 を比較すると No. 02 は S が高目, [O], ΣN が低目であり, No. 06 は S が低目, [O],

Table 1. Chemical composition of specimens (%).

| Specimen No. | | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | As | Sn | ΣAl | ΣN | [O] |
|--------------|------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| 02 | Plasma remelting | 0.96 | 0.31 | 0.45 | 0.019 | 0.011 | 0.07 | 0.06 | 1.44 | 0.010 | 0.019 | 0.010 | 0.010 | 0.0023 0.0017 |
| | Raw material | 1.03 | 0.33 | 0.43 | 0.017 | 0.004 | 0.07 | 0.05 | 1.45 | — | — | 0.032 | — | 0.0043 |
| 06 | Plasma remelting | 0.95 | 0.24 | 0.36 | 0.014 | 0.006 | 0.09 | 0.06 | 1.40 | 0.013 | 0.014 | 0.014 | 0.013 | 0.0038 0.0040 |
| | Raw material | 1.03 | 0.27 | 0.39 | 0.013 | 0.007 | 0.08 | 0.07 | 1.43 | 0.011 | 0.017 | 0.010 | 0.008 | 0.0051 0.0074 |