2重電極によるプラズマ火炎*

元木 幹雄** 藤田 一郎** 小野雅章***

Plasma Flame by Coaxial Tubular Electrode*

by Mikio Motoki**, Ichiro Fujita** and Tsuneaki Ono***

Abstract

This paper deals with the generation of plasma flame by a coaxial tubular electrode.

The coaxial tubular electrode consists of outer and inner tubes, of which cross-sectional areas are nearly the same. The inner tubular electrode is coaxially inserted into the outer tubular electrode with spacing of the insulator as shown in Fig. 2.

Some experiments about the generation of plasma flame by the electrode and its application were performed.

The experimental results are as follows.

- 1) The coaxial tubular electrode made of carbon was able to maintain stably the plasma flame in water as well as in atmosphere, in spite of the flow of gas. And the dissipation of electrode was a little, so that this type electrode became a kind of non-consumable plasma torch.
- 2) When the electrode was made of mild steel, the plasma flame could be easily maintained both in water and in atmosphere, by using of ilumenite and manganese dioxide as the chief ingredients of insulator between two tubular electrodes.

Besides, it was possible to ignite the plasma flame in water by the mixing of small amount of electrolyte such as sodium chloride.

- 3) Under the condition of oxygen flow and mild steel electrode, the plasma flame was ejected very stably in water and in atmosphere. Moreover, the mild steel was oxidized and burned, so that the heat of plasma flame was stronger due to the addition of combustion heat.

- 4) A concrete board could be easily pierced by the plasma flame in atmosphere, in water or in salt water. In this case, the mild steel electrode and the oxygen flow were used for the generation of plasma flame.

Thus the coaxial tubular electrode may be called very useful for applications to the field of ocean development.

1. 緒 言

同軸管構造の2重電極によるプラズマ火炎の発生については前に述べた。本論文はその後、2重電極の電極材質、作動気体などについて検討した成果および応用例としてコンクリート板に穴をあけた結果を報告するものである。

2. 2重電極の構造

2重電極とは、ほぼ断面積が等しく、かつ寸法の異なる2本の管状電極において、Fig. 1に示すように内管を外管の中にそう入し、その間を絶縁固定した2重管構造の電極よりなり、外観はFig. 2のように1本の棒状

(1) Inner tube

(2) Outer tube

Fig. 1 Cross section of coaxial tubular electrode

を呈す。

内管と外管との間の絶縁にはアークの安定のため、溶接棒に用いられるような被覆剤を使い、必要に応じて外管にも被覆を施した。なお粉末状の被覆剤に対する固着

* 原稿受付 昭和46年6月2日(43年秋季, 44年春季全国大会に発表)

** 正 員 同志社大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Doshisha University

*** 同志社大学工学部 Faculty of Engineering Doshisha University

Fig. 2 Coaxial tubular electrode

剤としてはけい酸ソーダまたはアラビアゴムを用いた。

内管と外管との間に電圧を印加し、内管の内孔より気体を吹き出しながら、2重電極の先端を導体で接触開離すると点弧してプラズマ火炎を噴出する。かくして、2重電極によるプラズマ火炎は高温の熱源として工業的に応用することができる。

電源は無負荷電圧 80 V 程度の交流アーク溶接機でよく、アークの安定のために直流電源や高周波高電圧の併用を必要としない。以下の実験はすべて交流アーク溶接機を電源とした。

金属材料に対して切断、穴あけ等を実施するときは母材を電極とし、これと2重電極との間に3相交流アークを発生させることもできる。

3. 2重電極の特性

3.1 電極材料

炭素を2重電極の材料とすると、炭素はタングステンとともに熱電子放出が容易なため、気体の噴出にもかかわらず交流アークは安定であって大気中はもちろん水中でもほとんど再点弧に失敗せず、電極も余り消耗しない。内管と外管との絶縁に使う被覆剤の選定にもそれほど問題はない。

Fig. 3 は銅メッキをした炭素管を電極材料とし、大気中において 0.5 kg/cm^2 の空気流の噴出のもとに 150 A のアーク電流でプラズマ火炎を発生させたときの電極間電圧波形である。ただし電極の寸法は外管は外径 26 mm, 内径 20 mm, 内管の外径は 17 mm, 内径 8 mm, 電

Fig. 3 Wave form of voltage of coaxial tubular electrode

極の長さは 50 cm である。図よりアークは安定であり容易に再点弧していることがわかる。水中においてアークを発生させても安定にプラズマ火炎を維持することができた。

軟鋼の場合は、炭素と異なり電界放出形材料であるので交流アークの再点弧は比較的むずかしく、とくに2重電極では内孔より気体を噴出させるため、再点弧はより困難である。よってアーク安定のため2重電極の絶縁に使用する被覆剤について種々実験した結果、イルミナイト、二酸化マンガンをこの両者を主成分とすると、2重電極の材料として軟鋼を使用しても比較的安定なプラズマ火炎を発生することが明らかになった。

Fig. 4 は軟鋼管を電極材料として外径 13 mm, 内径 10 mm の外管, 外径 8 mm, 内径 3 mm の内管, 長さ 200 cm, 0.5 kg/cm^2 の空気流, 230 A のアーク電流のもとに水中においてプラズマ火炎を維持したときの電極間電圧波形で、交流アークは安定であって容易に再点弧していることがわかる。ただし、空気中におけるプラズマの発生には問題はないが、水中では最初からプラズマ火炎を発生することはむずかしく、空気中で点弧し、しかる後2重電極の先端を水中に突き込んでプラズマ火炎を維持した。

50 V/div

Fig. 4 Wave form of voltage of coaxial tubular electrode in water

なお水中点弧については、海水と同程度の濃度の塩水中で実験した結果、塩水中でのプラズマ火炎の発生が容易に行なわれたので、2重電極の内管と外管との絶縁剤にイルミナイトや二酸化マンガンの外に塩化ナトリウムを混入すると絶縁性は多少低下するが、水中においてプラズマ火炎を点弧することが可能となった。これは電解質の存在により、陽極酸化現象が起こり、電極材料が酸化される結果²⁾、仕事関数が低下し電子放出が容易になる³⁾ことに基因するものと考えられる。

軟鋼製2重電極において、空気流の効果は電極先端における溶融金属を吹き飛ばし短絡を防止するとともに、プラズマ火炎を前方に噴出させる点にある。ただし溶融した軟鋼が微粒子状になってプラズマ火炎とともに噴出するので電極消耗が激しい。炭素製2重電極は非消耗性

のトーチになるのに対し, 軟鋼の場合は消耗性のトーチになる。

3. 2 酸素流の効果

以上の実験はすべて作動気体として空気流を用いたが, 空気の代わりに酸素を噴出させると, 一般に酸素は電極材料を酸化して仕事関数を低下させるので, 酸素流のもとにおける2重電極のプラズマ火炎は非常に安定で再点弧も容易である。

したがって, 軟鋼を電極材料としても交流アークは安定であって, 被覆剤の選定にも余り問題がなく, 大気中はもちろん水中でも容易にプラズマ火炎を維持することができ, 空気流のとき比較的困難であった水中点弧も可能となる。

さらに, 軟鋼は酸素によって燃焼して反応熱を発生するので, プラズマの熱量に軟鋼の反応熱量が付加されて強力な熱源になる。Photo. 1 は酸素流, 軟鋼電極の条件におけるプラズマ火炎の写真であって電極の微粒子が火花のように激しく飛散していることがわかる。

Photo. 1 Plasma flame of coaxial tubular electrode

Fig. 5 は作動気体として空気と酸素を用いアーク電流が 230 A の場合におけるプラズマ火炎の発生熱量を比較したもので, 酸素流によると空気の約 2 倍以上の熱エネルギーを発生していることが明らかである。ただし

Fig. 5 Quantity of heat produced by coaxial tubular electrode

熱量の測定は水中においてプラズマを発生させ水の温度上昇より求めた。

4. 2重電極の応用

2重電極によるとコンクリート板や岩石類の穴あけが簡単に実施できる。よって本章では水中および最近の海洋開発に関連して海水と同程度の濃度の塩水中で歩道用敷石のコンクリート板に穴をあけた成果を報告する。

とくに軟鋼製2重電極のもとに酸素流を使用すると発生する熱エネルギーは軟鋼の燃焼による反応熱のために約2倍に増大し, 強力な熱源になるので実験は主として軟鋼管, 酸素流の条件より行なった。

Fig. 6 は水中において 200 A のアーク電流でコンクリート板に穴をあけたときの電極間電圧波形であり, 単に水中でプラズマ火炎を発生させた場合と比べると, 加工の際2重電極をコンクリート板に押し付けてアークを発生している関係と思われるが, 波形に脈動的成分が増加している。ただし, 使用した2重電極の寸法は Fig. 4 の実験において用いたものと同じで, 酸素圧力は 1.5 kg/cm² である。

Fig. 6 Wave form of voltage of coaxial tubular electrode at piercing in water

Table 1 は厚さ 6 cm のコンクリート板に穴をあけたときのアーク電流, 所要時間および電極消耗長を示すもので, 電極間電圧は 40 ないし 50 V である。電流を 300 A にすると40秒余りで穴をあけることができる。比較のため大気中で穴をあけた結果を Table 2 に示した。水による熱の吸収に基づき水中では多少加工に要する時

Table 1 Piercing data of concrete plate

Arc current (A)	Time spent (S)	Consumed length of electrode (cm)
150	63	38
200	55	32
250	49	29
300	43	26

Table 2 Piercing data of concrete plate

Arc current (A)	Time spent (S)	Consumed length of electrode (cm)
150	50	26
200	45	23
250	41	24
300	38	26

間が長くなる。あけられた穴はかなり荒いので応用としては取りこわし作業に適すようである。

なお海水と同程度の濃度の塩水中で実験したが、所要時間、電極消耗長さなどは Table 1 の水中の場合と余り変わらず、塩水中のプラズマ火炎は非常に安定であることが判明した。軟鋼製 2 重電極において、作動気体として酸素の替わりに圧縮空気をい用いると、水中心弧がむずかしく、一度大気中で点弧してプラズマ火炎を発生し、しかる後 2 重電極を水中に突き込んでアークを維持しなければならなかった。この問題の解決策として上記の事実に着目し、2 重電極の内管と外管との絶縁に使用する被覆剤としてイルミナイトや二酸化マンガンの外に塩化ナトリウムを少し混入すると、空気流の場合でも水中心弧が可能となった。水中におけるプラズマ火炎の維持に対して電解質の存在は非常に意義があり、その理由は電解による陽極酸化現象のため電極材料の仕事関数が低下することに基づくものと推定される。

なお軟鋼の 2 重電極で酸素を作動気体として使用すると、鉄筋コンクリートの場合でも、鉄筋が酸素と反応して燃焼するので他の方法と異なり簡単に穴をあけることができる特徴がある。

5. 結 言

無負荷電圧 80 V 程度の交流アーク溶接機を電源として、同軸的な 2 重管構造の電極によるプラズマ火炎の発生およびその応用について述べた。研究成果を要約するとつぎの通りである。

(1) 炭素製 2 重電極の場合、炭素は熱電子放出形の電極材料であるので、気体の噴出にもかかわらず大気中はもちろん水中においても安定なプラズマ火炎を維持することができる。また電極消耗も比較的少なく本電極は

非消耗性のトーチになる。

(2) 軟鋼製 2 重電極の場合、軟鋼は電界放出形の電極材料なので作動気体として空気を噴出すると、交流アークの再点弧は比較的むずかしいが、絶縁に使用する被覆剤としてイルミナイトや二酸化マンガンの外にその両者を主成分とすると、比較的安定なプラズマ火炎を大気中および水中で維持することができた。

絶縁剤にイルミナイトや二酸化マンガンの外に、塩化ナトリウムを混入すると、絶縁性は多少低下するが、水中でもプラズマ火炎の点弧が可能になった。電解質の存在は水中でのプラズマ火炎の発生および維持に有意義であることが判明した。

空気流の効果は電極先端での熔融金属を吹き飛ばし、短絡を防止するとともに、プラズマ火炎を前方に噴出させる点にある。ただし熔融した軟鋼が微粒子状になってプラズマ火炎とともに噴出するので電極消耗が激しく、軟鋼電極は消耗性のトーチになる。

(3) 軟鋼製 2 重電極で空気流の替わりに酸素を噴出させると電極が酸化して仕事関数が低下するので、被覆剤の種類に関係なく、プラズマ火炎は大気中はもちろん水中でも非常に安定で再点弧も容易である。

さらに作動気体の酸素によって軟鋼が燃焼し、反応熱を発生するためプラズマの熱量に軟鋼の反応熱量が付加されて非常に強力な熱源になる。

(4) 2 重電極によるとコンクリート板や岩石類の非金属や金属の穴あけ、切断が可能である。軟鋼製 2 重電極により酸素を作動気体として大気中、水中および塩水中でコンクリート板に簡単に穴をあけることができた。ただしあけられた穴はかなり荒いので解体作業に適すようである。最近さかんになった海洋開発などへの応用が期待できる。

参 考 文 献

- 1) 元木幹雄, “アーク切断法”, 溶接学会誌, Vol. 26 (1957), No. 8, 530~535
- 2) 電気化学協会編, “電気化学便覧”, 丸善出版株式会社, (1953), 254
- 3) 木本, 田宮, 平田, “液中過渡アーク放電による電極消耗”, 電気学会誌, Vol. 89 (1969), No. 1 133~141