

# 流体力学的制御によるプラズマ切断の高精度化

東京工業大学 工学部 化学工学科

助教授 本多卓也

(平成元年度研究開発助成 AF-89011)

## 1. 研究の背景

プラズマ切断はアークのエネルギーを切断局面に集中して溶断するために、切断精度を上げるにはアークから平板への熱移動量を絞ることが必要である。プラズマ切断ではレーザー切断に比べると、切断面におけるエネルギー密度が低いために、切断面の精密さが劣る。しかしレーザー切断に比べてコストが低いこと、およびレーザと異なりガス流体と同様の挙動を示すので流体による制御が可能であるという特色がある。

熱プラズマを流体により制御を行った過去の研究例を以下に示す。プラズマアークの陽極面近傍に、周囲から多量の気体の回転流を与えることにより高エネルギー密度のポイントアークを生成する方法が開発された。

ガストンネルを利用して高温、高密度のプラズマジェットを生成する方法が開発された。渦流発生器により大流量の気体を細いノズルより噴出させて円筒容器内に高速渦流を生成する。この両端に置かれたガスダイバータノズルにより、円筒容器内に鋭い圧力勾配が形成され、これが気体の壁となり、中心軸近傍に低真空のガストンネルが生成される。ガストンネル内でプラズマアークを発生することにより高温、高密度のプラズマジェットを得ることができる。

本研究では熱プラズマ流を流体により制御することにおいて、熱プラズマ流の操作条件による影響、流体による制御を行なうための吹き出しガスの種類の影響、各種の吹き出し装置による影響を検討し、効果的に熱プラズマ流のエネルギー密度を高めることを目的とした。

## 2. 研究成果の概要

本研究の目的は、熱プラズマ流を制御するための工学的検討を行い、その技術を確立することである。プラズマジェットとプラズマアークの速度と温度分布を求めるためのプログラムをSIMPLER法を用いた数値解析により開発した。実験においてはプラズマジェットの速度と温度分布を測定し、またプラズマジェットから平板への熱移動量分布を測定した。これらの結果を利用することにより、熱プラズマ流のエネルギー密度を流体により制御する技術を開発した。

### 2.1 プラズマジェットのエネルギー密度分布

1) プラズマジェットの速度分布を水冷ピトー管により測定した。またプラズマジェットの温度分布を熱量的方法により測定した。

2) プラズマジェットの2次元の速度と温度分布を数値解析により求めた。これらの結果を実験結果と比較すると、本研究における数値解析モデルはプラズマジェットの場を知ることに有用であることが示された。

3) プラズマジェットのエネルギー密度を流体により制御した。流体による制御とはプラズマジェットのノズル出口近傍においてジェットの中心に向けて半径方向に気体を吹き出す方法である。プラズマジェットのエネルギー密度の評価してQ値を用いた。Q値はエルタルビー流れの最大値をそのときの半値幅で割った値と定義した。適当な流量の吹き出し流に対してQ値は最大値を示した。つまり適当な流量の吹き出し流によって、プラズマジェットのエネルギー密度を高めることができた。(図1)。

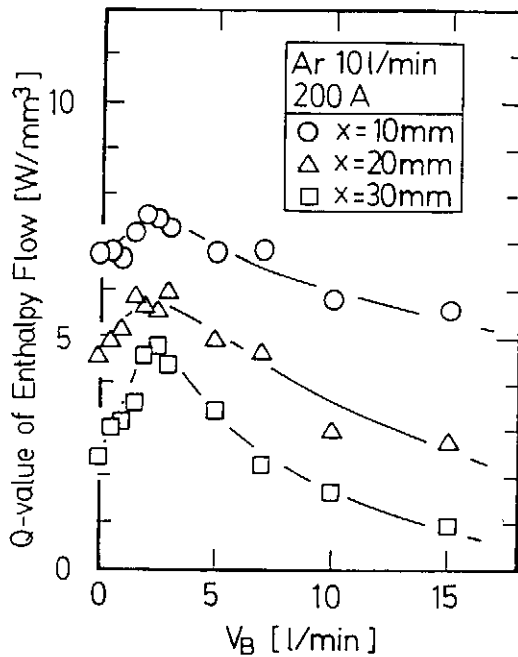


図1 プラズマジェットのエネルギー密度に対する吹き出し流の影響

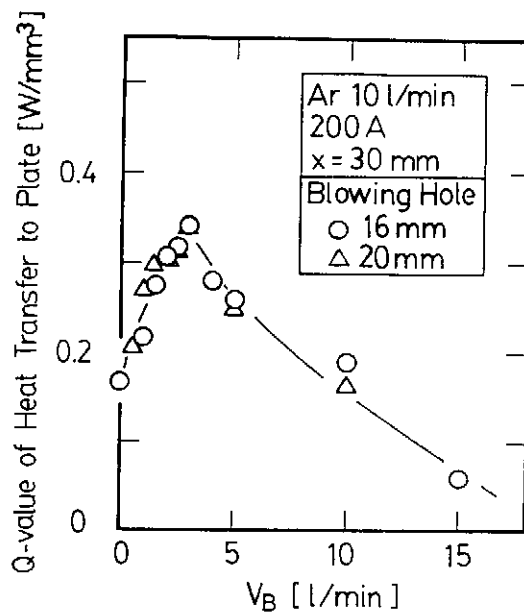


図2 プラズマジェットから平板への熱移動量分布に対する吹き出し流の影響

4) 数値解析においてもプラズマジェットを流体により制御することができることが示された。プラズマジェットのQ値は吹き出し流の流量、吹き出し幅、吹き出しの半径位置により変化した。吹き出し流によってプラズマジェットのエネルギー密度が高くなるのは、プラズマジェット自体の外側に広がる流れを抑えるためである。

5) プラズマジェットの操作条件により、プラズマジェットのエネルギー密度を制御することができた。放電電流を大きくすること、またはプラズマジェットのガス流量を多くすることにより、プラズマジェットのエネルギー密度は上昇した。

## 2.2 プラズマジェットから平板への

### 熱移動量分布

1) プラズマジェットから平板への熱移動量分布を2つの水冷半円板から成るプローブを用いて測定した。

2) プラズマジェットから平板への熱移動量分布を流体により制御した。制御の方法は上記の方法と同様である。平板への熱移動量分布におけるQ値

は適当な流量の吹き出し流に対して最大値を示した。つまり適当な吹き出し流量によって平板への熱移動量分布を鋭くすることができた(図2)。

3) 吹き出し流によってプラズマジェットから平板への熱移動量分布が鋭くなるのは、プラズマジェット自体の外側に広がる流れを抑えるためである。そのために全熱移動量も大きくなった。

4) プラズマジェットの操作条件により、プラズマジェットから平板への熱移動量分布を制御することができた。放電電流を大きくすること、またはプラズマガス流量を多くすることによって、全熱移動量は大きくなり、熱移動量分布は鋭くなった。

## 2.3 プラズマアーク

1) プラズマアークから陽極への熱移動量分布を、二つの水冷半円板から成る陽極を用いて測定した。

2) 移行型アークを支配する連続の式、運動量保存式、エネルギー保存式、および電流の保存式の数値解析を行い、2次元の速度分布、温度分布、および電流密度分布を得た。これらの数値解析の結果

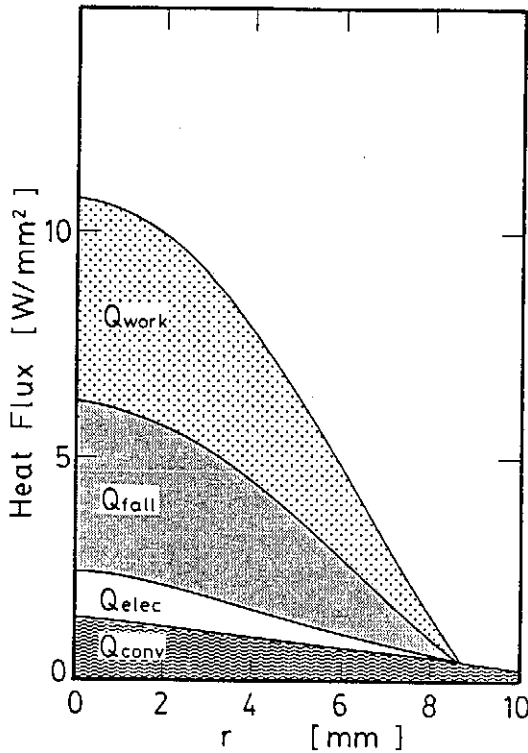


図3 プラズマアークの陽極における熱移動量分布の数値解析結果 ( $Q_{conv}$ : 対流による熱移動、 $Q_{elec}$ : 電子のエンタルピーフラックスによる熱移動、 $Q_{work}$ : 陽極の仕事関数による熱移動、 $Q_{fall}$ : 陽極降下で加速された電子による熱移動)

から移行型アークから陽極への機構別の熱移動量分布を求めた。陽極における熱移動量分布では、中心近傍では陽極に入射する電子のエネルギー輸送が支配的である。特に陽極降下電圧により加速された電子の有するエネルギーによる割合と陽極の仕事関数に相当するエネルギーによる割合が80%近くを占める。アーク周辺ではアークからの対流伝熱による機構が支配的である(図3)。

3) プラズマアークから陽極への熱移動量分布を流体により制御した。流体による制御とはアークに対してガスを吹き出す方法である。熱移動量分布の鋭さの評価としてQ値を用いた。Q値とは熱移動量分布の最大値をそのときの半値幅で割った値と定義する。適当な吹き出し装置と吹き出しガスをを用いることにより陽極における熱移動量分布を鋭くすることができた。熱伝導率の大きいヘリウ

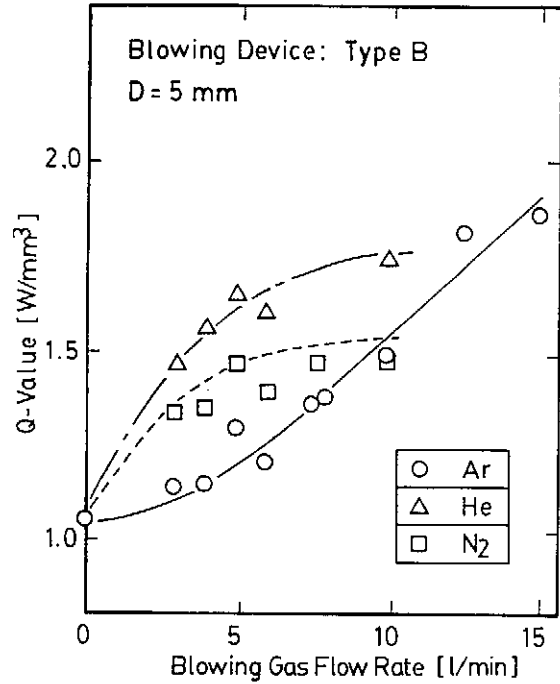


図4 プラズマアークから陽極への熱移動量分布に対する吹き出し流の影響

ムや解離反応を起こす窒素を吹き出しガスとして利用することにより、アークを有効的に冷却し、熱的ピンチ効果によりアークから陽極への熱移動量を絞ることができた。またアルゴンおよび窒素が吹き出しガスとして用いることにより、ガスの動圧により熱移動量を絞ることができた(図4)。

4) 数値解析においても移行型アークから陽極への熱移動量分布を流体により制御することがわかった。アークに対して適当な位置において旋回流を与えることによりアークから陽極への熱移動量分布は鋭くなった。

5) プラズマアークから陽極への熱移動量分布をアークの操作条件によって制御した。電極間距離を長くすること、プラズマガス流量を少なくすること、放電電力を大きくすることにより、陽極における熱移動量分布を鋭くすることができた。これらの実験結果から、移行型アークから陽極への熱移動量分布を鋭くするには、その放電距離を長くすることが実用的である。しかし放電距離を長くするとアークは不安定になる。アークを安定化

するには吹き出し装置を用いて旋回流を発生する方法がある。熱移動量分布を鋭くするにはこの方法が最適である。

6) 数値解析においてもプラズマアークの操作条件により、陽極における熱移動量分布を制御できることがわかった。プラズマガス流量を少なくすることにより、対流による熱移動量分布はなだらかになるが、電流密度が大きくなるために全体の熱移動量分布は鋭くなる。アーク電流を増すと、電流密度が上昇するために熱移動量分布は鋭くなる。電極間距離を長くすると、対流による熱移動量分布はなだらかになるが、電流密度が大きくなるために全体の熱移動量分布は鋭くなる。これは

アークが長いほど冷却され電流通路が狭くなるため、およびアークの陽極に対する衝突が弱くなるためである。

### 3. 結 言

熱プラズマ流のエネルギー密度を制御することが、プラズマ切断の高精度化には必要である。熱プラズマ流を制御する方法として、流体により制御する方法と磁場により制御する方法が考えられる。本研究で開発した流体による制御は、装置が簡単でランニングコストが低いことが利点である。そのために現在のプラズマ切断の高精度化に応用可能な技術である。