実 用 講 座

切断技術の実際 (2)
プラズマ切断*

Practical Side of Cutting (2)

Plasma Cutting*

中 野 悦 男**

by Etsuo Nakano**

キーワード：プラズマ切断，ウォータインジェクションプラズマ

1. は じ め に

我が国でのプラズマ切断技術は，ガス切断の出来ない非鉄金属（ステンレス，アルミニウム等の切断よりスタートした。当初は，プラズマガスにアルゴン-水素，窒素等が使用されており，切断の高速性を誇っていた。その高速切断性が，産業界で最も多く使用されている鉄への適用を検討させたことは当然の事であろう。

昭和 47 年に NC 搭載第 1 号機が動きだした事より，本格的な軟鋼への適用がスタートした。

この当時は空気をプラズマガスとした空気プラズマ切断が主体であったが，空気中に含まれる窒素による溶接性の問題，プラズマ切断特有の切断面テーパーの問題，及び当時の人件費対消耗品代比率の問題によって限定された使用になっていた。

軟鋼切断への適用が本格化したのは，昭和 57 年頃にハフニウムと言う金属が入手出来るようになり，酸素使用に十分耐える電極が出現した事に依ろう。

最近では，プラズマ切断は，軟鋼使用として，種々の周辺機器，および対応がとられている。

この様にプラズマ切断が一般化して来たことによ

り，消耗品の寿命等実際に使用する上での問題に対する要求も高まりつつある。

2. プラズマ切断の原理及び他の熱切断法との比較

プラズマ切断では，プラズマ気流（以後プラズマアークと呼ぶ）と拘束ノズル（以下ノズル部分を含む先端部品をチップと呼ぶ）の影響によるサーマルピンチ効果を巧みに利用して，2～30,000℃程度のプラズマアークを作り出し，これを溶断熱源として，加工物を切断している。

プラズマ切断の特徴は，従来のガス切断（酸素切断）が金属の酸化反応を利用しており，しいていうなら化学切断であるのに対し，超高温のプラズマアークによって被加工物を溶かして切断するため，一種の物理切断といえる。

したがって，ガス切断では鉄しか切断できないが，プラズマ切断では，方式によってほとんどの物が切断できる。各切断法の比較を参考として，表 1 に示す。

また，ガス切断の場合は，化学反応であるため，切断速度は鉄の酸化反応速度に依存するが，プラズマ切断では溶融金属であるため，供給エネルギーを増大することで，切断速度は増大する。プラズマ切断では，プラズマアークのエネルギーにより切断材が溶融し，その溶融物を，プラズマガス気流が溶融

*原稿受付 平成 4 年 9 月 22 日

**正 員 小池酸素工業㈱ Member, Koike Sanso Kogyo Ltd.

表 1 プラズマ切断の特徴

	プラズマ切断	ガス切断	機械的切断
長所	すべての材料に適用できる 切断速度が早い 切断形状の再現性が少ない 熱変形が少なく、拘束治具を用いなくても良い 熱影響部が小さい	カーブ角が仕上がりよく、ベベル角の小さい切断が容易に行える 軟鋼板 3mm 程度まで切断できる 多本トーチによる切断が容易である 切断形状の再現性が少ない	すべての材料に適用できる 切断面の精度が良い 拘束治具を用いずば、歪みが少ない
短所	べベル角が大きい カーブ幅が広い 実用的には、自動機で 150mm 以下、手動機で 30mm 以下に制限される 初期コストが高い 消耗品の寿命が短い 単一の切断機で 1~4 本程度までしか使えない 優先切断では、後加工を必要とする場合がある 1mm 以下の切断板厚では、ドロスフリー切断に問題がある	プラズマ切断に比べて切断速度が遅い 高合金鋼、鋳鉄、非鉄金属の切断は非常に困難もしくは、出来ない (パウダ切断法を除く) 切断歪みが大きい 5mm 程度以下の薄板の良質切断は困難	切断速度が遅い 直線のみ、切断形状の切断しかできない 腐蝕性の高い治具を必要とする

材 質	切断方法	切断板厚 (mm)						
		0.5	1	5	10	50	100	500
軟 鋼	ガス切断							
	プラズマ切断							
	レーザ切断							
ステンレス	ガス切断							
	プラズマ切断							
	レーザ切断							
アルミニウム	ガス切断							
	プラズマ切断							
	レーザ切断							

図 1 各切断法の切断板厚範囲

図 2 切断電流と切断可能板厚

部から排除することによって切断が遂行される。切断材の溶融、およびその排除を行うために、プラズマアークには、

①切断材を溶融させるのに十分な熱エネルギーが存在すること。

②溶融物を溶融部から効率的に排除するのに必要な、機械的エネルギーが存在すること、が要求される。

各切断法による切断対象板厚を図 1 に示す。それ

ぞれの切断法は、供給するエネルギーによって板厚範囲が違うが、この図は一般的に実用している切断機での最小と最大幅を示す。

プラズマ切断の場合は、低電流 15 A 程度のものから 1,000 A 程度のものが実用化されており、それぞれの電源容量の大きさ、および使用する作動ガスの種類によって、切断板厚、適用材質が異なってくる。

各プラズマの種類と切断材質によって若干異なるが、平均的な値を示すと、図 2 のように、電流が多くなると切断可能板厚も厚くなる。

酸素プラズマは、切断板厚からだけでいえば、ステンレス、アルミニウム、軟鋼とも同じ電流で、ほぼ同じ板厚となる。アルゴン-水素プラズマの場合は、ステンレスとアルミニウムだけの板厚を示す。

ウォータインジェクションプラズマは、作動ガスを酸素とした場合、酸素プラズマに準じるが、窒素使用時は若干板厚範囲が変わる。

3. プラズマ切断機の種類

前述したように、電源形態として非移行形と移行形がある。前者は、非金属用として使用され、後者

は金属用として使用されている。

ここでは、金属用について説明する。金属用のプラズマは、図3のように作動ガスによって分類される。大きくは、酸化性ガス、窒素ガス、アルゴンガスが主体となり、それぞれに補助ガスが用いられ、単ガス使用であったりによって分けられる。

3.1 酸化性ガスを使用するプラズマ切断機の特徴

酸化性ガスを使用するプラズマは、酸素プラズマと空気プラズマがある。歴史的には、空気プラズマが約17前に、造船業界においてプラズマ切断を軟鋼材に適用させるために開発された。当時は、プラズマといえば非鉄金属用で、窒素プラズマとアルゴン-水素プラズマしかなかった時代であるから、プラズマ切断を軟鋼材に適用できることは、非常に注目を浴びた。

軟鋼切断時は、空気中の酸素が鉄と酸化反応し、ドロスフリーが得られるため、多く使用されたが、一方では、空気中の窒素が切断面に入り込み、切断面表面に窒化層を形成する。そのため、サブマージ溶接時には、窒素が析出して溶接欠陥であるブローホールが発生する。このように空気プラズマで切断した面を溶接するとブローホール発生のような問題が発生する。しかし、切断後溶接をしない場合は、切断面の表面上の品質はよく、まったく問題ない。完全な溶接を要求されなければ、使用できる。

3.1.1 溶接時の問題解決法

切断面を削ればよいのであるが、そんな手間をかけるわけにはいかない。そこで開発されたのが、酸素プラズマである。

酸素プラズマは、作動ガスに純酸素を使用するた

図3 プラズマ切断の分類

図4 電流の立ち上がり特性

め、切断面に窒素が入らず、溶接に対してもまったく問題ない。基本的には空気プラズマの欠陥がなかった時点で、純酸素を用いればよいことはわかっていたが、電極の寿命に問題があった。しかし、前述したハフニウム電極の出現によって、酸素プラズマの実現が可能となった。これが約7年前である。

3.1.2 電源の特徴

酸素を使用する場合、図4のように電流の立ち上がりがなだらかになっている。そのため、基本的には酸素プラズマ用の電源はトーチを交替することなどで、他の作動ガスを使用できるが、窒素、空気用の電源に酸素を使うことは、100 A以上の電源では困難である。また、ハフニウム電極の特性から、現状では最大電流は250 A程度となっている。

3.2 アルゴン-水素プラズマ

アルゴン-水素プラズマは、作動ガスに不活性のアルゴンを主体に用い、水素または窒素を少量加えて使用する。

対象切断材は、ステンレス、アルミニウムが主で、実断面は良質で切断材の素地がそのまま切断面となる。

その反面、不活性ガスを用いているため、ドロスの剝離性はあまりよくなく、ドロスフリーとなる切断条件域は他のプラズマに比べると、比較的狭くなっている。また、軟鋼の切断ではドロスフリーが得がたく、速度もガス切断と大差なくなるので、ほとんど適用されない。

3.3 窒素プラズマ

窒素ガスを単独で使用するものや、補助ガスとして炭酸ガスを使用するプラズマは、古くから非鉄金属の切断法として用いられていた。しかし、技術が進んだ現在では、切断面に窒化層ができ、変色することなどの問題があり、品質を要求される切断にはあまり使用されなくなった。しかしながら、電極、チップの耐久性が他のプラズマより長いことや、比較的ラフに使用できる利点がある。

3.4 ウォータインジェクションプラズマ

ウォータインジェクションプラズマの基本的構造を図5に示す。この方式は、アーク柱に渦巻状に噴出させてチップを冷却し、高電流によるチップの溶損を防止するとともに、サーマルピンチ効果を高めている。

また、水を定常的にアーク柱に噴出しているため、水中での切断が可能となり、音、光、発煙などの公害的要素を水中切断することで解決している。さら

図5 ウォータインジェクションプラズマの基本構造

に、水中で切断することにより、ひずみ量が他のプラズマに比べ非常に少なくなる。最近では、作動ガスに酸素も使えるものが出現し、軟鋼、ステンレスともに良質切断が行える唯一の機種となっている。

欧米では7~8年前より多く使用されていたが、日本では水を使うことであまり使用されていなかった。また、当時は窒素だけしか使用できなかったため、アルゴン-水素との対比になっていた。最近では、酸素も使用できるようになり、日本においても公害的問題がクローズアップされており、注目を集めている。現在国内では、約40台程度稼動している。

4. 消耗品について

使用するプラズマ切断機およびトーチによって多少変わる。図6に示すように、旋回流タイプは、電極、チップ、キャップ、センタリングストーン（インシュレータとも呼ばれている）の4種類が基本である。軸流タイプについては、センタリングストーンを抜いた3種が基本になる。

プラズマ切断の場合、消耗品とは、数時間~数日で交換しなければならないものを消耗品と呼んでいる。通常、トーチは6カ月~1年で消耗するものなので、年間のスペアパーツとして扱われている。

電極の耐久時間は、使用ガス、電極材質、使用電流、電極の冷却方法などによって大きく左右される。

使用トーチによって冷却効率が異なるが、平均的には1~4時間のアーク時間になる。それらも、図7に示す一例のように、アークスタート回数によってアーク時間が変化する。又、電極の製造方式によっても異なって来る。(S, F, LL形の相違) アークスタート回数(切断回数)が多くなるほど、トータルのアーク時間が短くなる。

この傾向は、プラズマ切断全機にわたり同じである。

電極消耗の状態は、新品状態より一度アークを出すと、電極の最先端部、つまりアークが発生する部

図6 トーチ内部の構造

図7 酸素プラズマの電極寿命 (KPC-250 A)

分は、温度がかなり上がる。次に、アークを止めると、酸素プラズマの場合は、第1回のアーク中に表面が酸化し、他の非酸化性ガスの場合は、大気中の空気の巻き込みにより酸化膜ができる。

次のアークスタートでは、この酸化膜をやぶり、アークが発生するため、このとき電極材が溶け飛ぶ。この分は、定常的にアークが出ているときより若干多いため、スタート回数が増大するほど、電極の耐久性が短くなる。さらに、電極特性により、スタート時の立ち上がり電流が大きいと、そのエネルギーによって電極が消耗する。それで、さらに電極の耐久性が短くなる。

各プラズマによる電極耐久性の比較を表2に示す。これは、250 Aクラスの比較であり、前述したように、各システムによって若干値が異なってくる。

埋め込み形電極は、図8のようになっている。この形の電極は初期に電極材が消耗し、最後に電極材の周囲にある銅部分が溶損という状態になる。

軸流形のタングステン棒は、図9のようにテーパー状にとがらせ、先端が丸くなった時点でアークの乱れが発生する。前者の埋め込み形電極は、一般的には修復不能で新品と交換しなければならない。しかし、後者はタングステン棒の先端を削ることで、再使用が可能である。

チップは埋め込み形の場合、電極の耐久時間より短く、約80%程度になる。通常、電極の破損時にチッ

表2 各プラズマ電極材の寿命

プラズマの種類	電極材	電極寿命
酸素プラズマ	ハフニウム	1～4時間
空気プラズマ		1～4時間
窒素プラズマ	タングステン	4～8時間
アルゴンプラズマ		24～80時間

図8 埋め込み形電極の消耗

図9 タングステン電極の消耗

図10 切断中のスパッタの跳ね返り

ブも破損する。

さらにチップは、切断時、最先端にあるので、図10に示すように、スパッタなどの跳ね返りや、銅板などとの接触、シリーズアークの発生によるアクシデントなどを受ける。この分がチップ寿命を約20%程度下げている。

アルゴン-水素プラズマのようなタングステン棒の場合は、タングステンの溶滴がチップ内部に付着して、チップ内ノズル穴径を変形させる。したがって、使用電流などによって若干異なるが、2～8時間

程度と考えればよい。

キャップもチップ同様、切断時のアクシデントを受ける。大半はこのアクシデントによって損傷するので、だいたい電極の8～20倍になる。

センタリングストーンは、別名スワルリングとも呼ばれている。これは通常、あまり損傷しないが、セラミック材で作られている場合が多く、チップ交換時に落したり、割ったりする。また電極が損傷しても、アークを止めなかった場合は、トーチ温度が上昇し、熱による割れが出る。これらの原因により、だいたい電極寿命の20～50倍になる。

5. 終わりに

以上、プラズマ切断の一般的な事を紹介したが、最近では、レーザ切断との競合部分が出てきており、プラズマ切断の高速性のみでは対応できなくなっている。この為、無人化に向けた、消耗部品の長寿命化、及び自動機械に対する無人化のための周辺機器等が開発されてきている。

更に、切断面品質、切幅等もレーザに対抗し得る高品質プラズマが注目を集めだしている。

これらについては、機会があれば、今後紹介して行きたいと考える。

参 考 文 献

- 1) 中野 プラズマ切断 溶接技術 1988 (5) 148-154
- 2) 中野 プラズマ切断 溶接技術 1988 (6) 115-121
- 3) 中野 プラズマ切断 溶接技術 1988 (7) 130-136
- 3) 中野 最近のプラズマ切断 溶接技術 1990 (4) 83-89
- 3) 中野 軟銅に於けるプラズマ切断の現状と将来 ジョイステック 1990 (2) 18-22