

＝マイクロ・プラズマアーク溶接の基礎と考え方＝

本話では引き続きナストーア溶接ハンドブック (IV編プラズマ溶接) (平成 11 年 3 月発行) およびその他資料を参照しながら、マイクロプラズマ溶接の基礎的事項と考え方について以下に説明を致します。

2-1. はじめに*1)

マイクロ・プラズマアーク溶接機は 1964 年バリーで開かれた展示会にスイス・セシロン社が最初に出展・発表した。当時の開発目的は TIG 溶接における低電流域における溶接作業性を改善することであった。当時の TIG 溶接ではアーク現象からみても 1.5 A 以下ではアークが不安定で溶接作業に使用するには困難であった。但し、平成 11 年 3 月現在、高周波パルス化すれば 1 A 程度まで使用可能になっています。セシロン社はこれを実現し、炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼、ニッケルおよびその合金など TIG 溶接で可能な材料の極薄板 (例えば 0.02 mm~1.5 mm 厚程度) をほとんどマイクロ・プラズマアークで溶接することを可能にした。なお、「マイクロ・プラズマ」はセシロン社の造語であり、一般には小電流プラズマと呼ばれている。

2-2. パイロットアークの効果*1)

前話の図 216-02 において述べたように TIG アークは 1.5 A 程度の電流以下ではアーク固有の特性で負性抵抗特性を示す。これは、電流の減少にともないアーク電圧が急激に増大する性質で、言い換えるとアーク長さが少し長くなると急激にアーク電圧が高くなるとともにアーク電流が減少する、アーク電流が減少すると更にアーク電圧が高くなってアークを維持するだけの電源電圧が不足になり、アークが消滅してしまう。したがって電流の減少によってもアーク電圧の増加が少なく、平坦な電気的特性が得られれば、低い無負荷電圧の電源でも小電流まで安定したアークが得られるわけです。

そこで、アーク特性を図 216-02 に示すように小電流に向かっても電圧が上昇しない平坦な特性にするために、パイロットアークの助けを借りている。

すなわち、パイロットアークによって主アークの流路を導電性の良い状態に整えておき、場合によってはパイロットアーク電流よりも小さい主アーク電流を流すことができる。

また、プラズマアークでは、アークの長さが TIG に比べて長いにもかかわらず、小電流でも電圧が増加せず、ほぼ平坦な特性が維持されます。

図 217-01 は、この性質をさらに詳しくみたもので、パイロットアーク電流 (I_p) の主プラズマアーク電流の特性変化を調べたものです。図から明らかなように、プラズマの平坦な特性は、パイロットアーク電流 (I_p) の助けによるもので、 I_p が少な

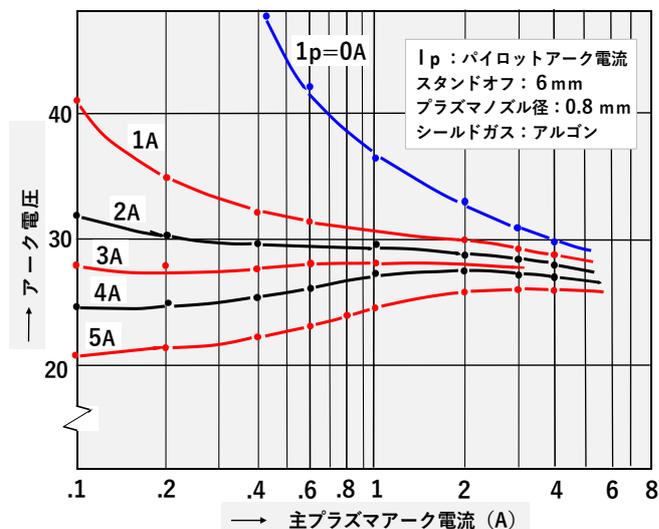


図 217-01 主プラズマアークの電気的特性に対するパイロットアークの効果*2)

すぎると、主プラズマアーク電流の減少にしたがってアーク電圧が増加し、TIGアークの特性に近づき、アークは不安定になります。

図の場合2~3 Aが適正值であるが、この値はトーチの寸法構造により特性が異なるので必ずしも一義的に決まっていない。機器メーカーで適正值に設定されているので、形式の違うトーチに取替える時には注意を必要とする。

2-3. マイクロ・プラズマアーク特性

前話の図216-03において述べたようにプラズマアークでは内側水冷ノズルによる熱的ピンチ効果、アーク電流自身による電磁ピンチ効果およびシールドガスの熱的ピンチ効果を併用しアークを緊縮させている。

センターガスには純度の高いアルゴンを用い、シールドガスにはアルゴンに少量の水素あるいはヘリウムなどを混合したガスを用いている。

図217-02はシールドガスに水素混合ガスを用いた場合の母板上におけるアークの電流密度分布を測定した例で、7%水素混合ガスではアルゴンのみの場合に比べて、中心部で約5倍の電流密度になっている。

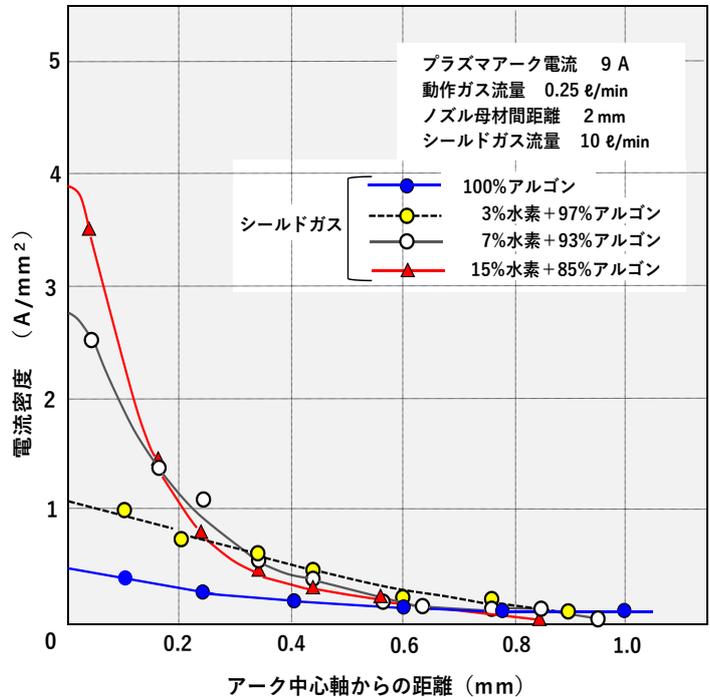


図217-02 マイクロ・プラズマアークにおける電流密度分布*3)

このようにシールドガスに水素混合ガスを用いると主アークが絞られて高電流密度のアークが得られるだけでなく、溶融池の表面張力を下げて、濡れ性を増す。さらに、溶接部の酸素と結合して酸化を還元する役目もある。しかし、銅および銅合金、水素と反応しやすいチタン、タンタル、ジルコニウムなどには使用することはできず、代わりにヘリウムが用いられる。

図217-03はオーステナイト系ステンレス鋼の突き合わせ溶接に適用した例で、水素混合比を増すと同一板厚の溶接に必要な電流が少なくてよい結果になっている。

以上のように、シールドガスに水素を適量混合することは幾つかの利点を持っているが、溶接対象の金属材料の性質、溶接品質などには十分注意をはらい、場合によってはヘリウムまたはアルゴン/ヘリウム混合ガスを使用しなければならない。

また、センターガスには主として純度の高いアルゴンが使われている。その理由はアークの起動が低エネルギー（低電圧）で容易にでき、しかも、比較的アーク長さを長く保つことができ

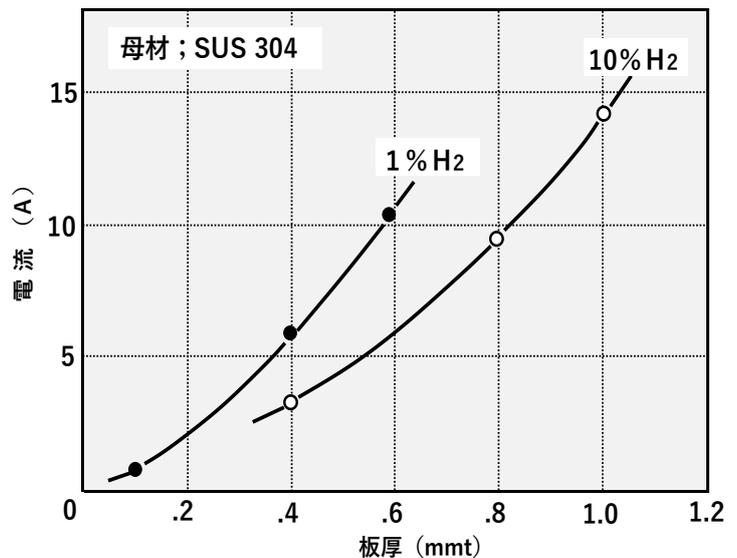


図217-03 突き合わせ溶接に必要な最小電流に及ぼすシールドガス中の水素の影響*3)

るからである。極くまれに、アルゴン・ヘリウム、アルゴン・水素の混合ガスが使われているが、ヘリウムや水素の混合率についてはアークの起動性に注意して決めねばならない。

既に述べたように、マイクロ・プラズマアークの開発目的はTIGアークにおける低電流域（15A 以下）での溶接を安定して行なうことであった。マイクロプラズマ溶接機 **Plasmafix 40** 開発当時の 1970 年代前半における直流 TIGアーク（電極マイナス）では、手持ち資料不鮮明につきスケッチによる描画で代替させていただき大変恐縮しますが、[図 217-04\(a\)](#)にみるように溶接速度が 20cm/min 程度の低速においても溶融池を電極直下に形成することができず、陽極点が尺取り虫のように飛び飛びのアークスポットのようになる。その後 1990 年代後半に開発した高周波パルスで**(b)**のようにアークの硬直性が実現し安定したが、電流密度の点では、プラズマアークに及ばない。

[図 217-04\(a\)](#)のように不安定なアークでもアーク長さを極端に短く設定（0.6mm 以下）すれば実験室的にはアーク溶接が可能であることを示したのが[図 217-05\(b\)](#)である。これをプラズマアークにすると[同図\(a\)](#)のように 10 倍のアーク長でも安定している。

以上、小電流プラズマにおけるプラズマアークの安定化に必要なパイロットアークの役割、シールドガスとしてのAr-H₂ 混合ガスによる電流密度の増大および追従性良好なプラズマ・アークによる溶接速度の向上などについて概要を説明しました。

次話では、これらのプラズマアークの基礎的事項を踏まえて、TIG 溶接と比較するなかで**マイクロ・プラズマアーク溶接のいくつかの特長**を説明致します。

以上。

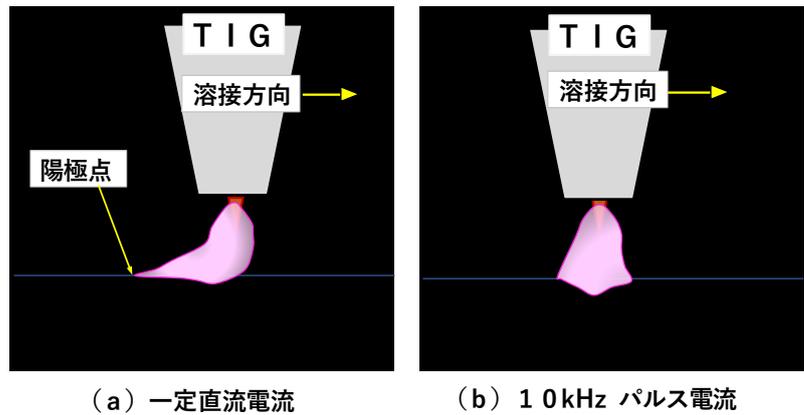
*1) ナストーア溶接ハンドブック (IV編 プラズマアーク溶接)

*2) 荒田, 西口 溶接法の基礎 溶接全書 2 p53

*3) 西口 プラズマ溶接 溶接学会誌 40 巻 12 号 別刷 p31

*4) 荒田, 西口 溶接法の基礎 溶接全書 2 p40 を参考に描画

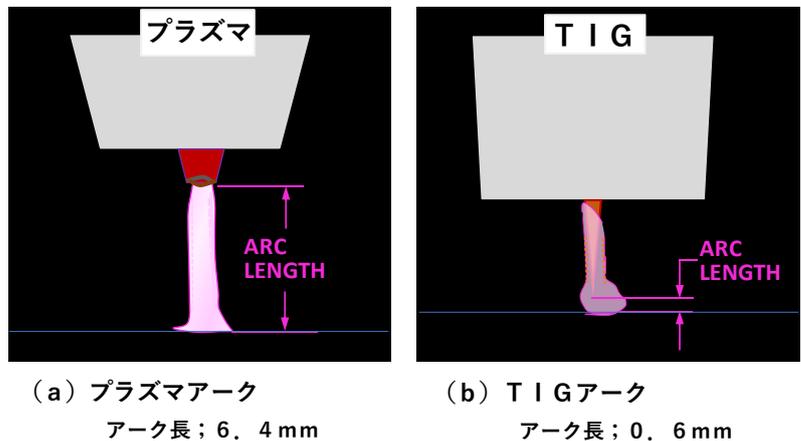
*5) AWS Welding Handbook Vol 2 7E p300 を参考に描画



(a) 一定直流電流 (b) 10kHz パルス電流

平均電流；10A, 溶接速度；20cm/min, 軟鋼板

[図217-04 小電流TIGアークの形状*4\)](#)



(a) プラズマアーク アーク長；6.4mm (b) TIGアーク アーク長；0.6mm

[図217-05 溶接電流10Aにおけるアーク長の比較*5\)](#)