

前話では進化の基本である SP-MAG 溶接法と、パルス溶接において短アーク長、高速溶接という条件においてもスパッタ発生を抑制可能とする HD-Pulse 溶接法について、該当文献を参考にし、紹介しました。

CO2 溶接の中／高電流・グロービュール移行領域における高速溶接時のスパッタを最小限とする制御方法として通称 MTS 制御が開発され、2007 年 4 月販売の 450GZ3 に搭載したと記されている。

本話ではこの MTS-CO2 溶接法－溶滴移行安定化制御（Metal Transfer Stabilization Control）を紹介します。なお、新入熱制御法である HEAT 工法については、本話の後段で取り扱います。

1, MTS-CO2 溶接法

1) はじめに

CO2 溶接における中／高電流領域ではワイヤの溶滴移行はグロービュール（塊状）となる。なぜグロービュールになるかと言えば、CO2 がアークの高温下で CO と O に解離され、その時 283Kj の熱量が奪われるため、アークは極力熱量を奪われまいとして収縮する。このためアークの極点は、溶滴下端部に集中して発生し、そのアーク力が溶滴の押し上げ作用をもたらし、中・大電流域での溶滴は大きい塊となってワイヤ端から離脱し、多量のスパッタが発生する（「アーク溶接の世界」より一部抜粋^{*1)}）。

これらの発生スパッタに対し、抑制効果を発揮するのが MTS-CO2 溶接法である。

2) 文献 P-4～P-6 における MTS-CO2 溶接法に関する説明記事の抜粋（概要）

P-4～P-6 各文献に記述してある説明内容はほぼ同一であるため、併記はさけて P-4 文献を代表例として以下に引用します。

- ① S P-MAG 溶接法にみる短絡とアークとの切り替え時に発生するスパッタ抑制対策のほかにアーク期間中に発生するスパッタの低減を目的として、アーク期間中の出力波形に特徴を持たせた溶滴移行安定化制御（MTS 制御）を開発。
- ② MTS 制御では、アーク期間中の出力波形に脈動波形を重ねさせることでワイヤ先端の溶滴に加わるアーク反力をコントロール。
- ③ MTS 制御により CO2 溶接／高電流・高速溶接時のスパッタ発生量を 350A 領域で従来のフルデジタル溶接機比約 2/5 と大幅に削減。
- ④ MTS 制御による効果は発生するスパッタ粒径が従来のフルデジタル溶接機と比較して 450Z3 では小粒化を達成しスパッタ低減効果が大きい。

つぎに、MTS 制御への考え方とその効果について代表的な図・グラフを選んで以下に整理しておきます。参照下さい。

3) MTS 制御における考え方とその効果

3)-1 MTS 制御の考え方

図 262-01 (P-5 文献) に示すように、アーク期間中の出力波形に脈動波形を重ねさせることでワイヤ先端の溶滴に加わるアーク反力をコントロールしている。ワイヤ先端の溶滴は一定周期での上下動を繰り返し、周期的な挙動となる。このことにより、溶滴の成長を抑制し短いアーク長での長時間短絡を抑制するとともに、アーク反力による溶滴の飛散を抑えることを可能にした。

さらに、MTS制御に関する考え方の説明に図 262-02 (P-6 文献) が用いられているが、説明の表現はほぼ同じのため割愛しますが、イメージを描くには大変参考になりそうです。

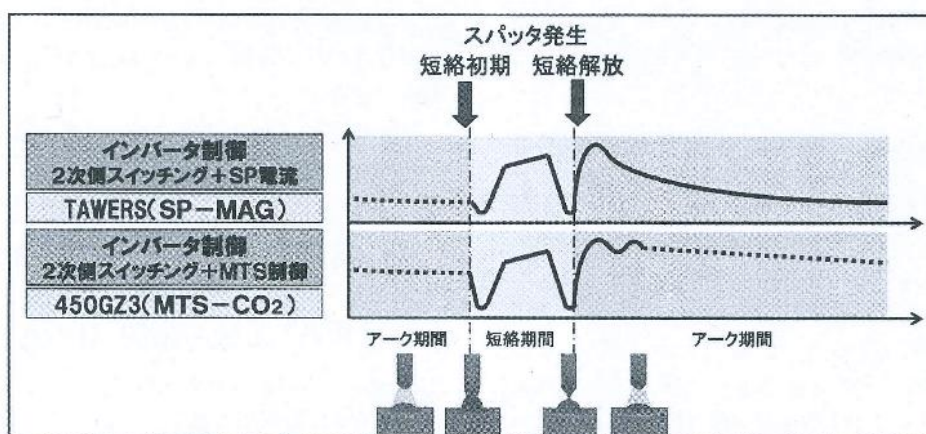


図 262-01 MTS 制御

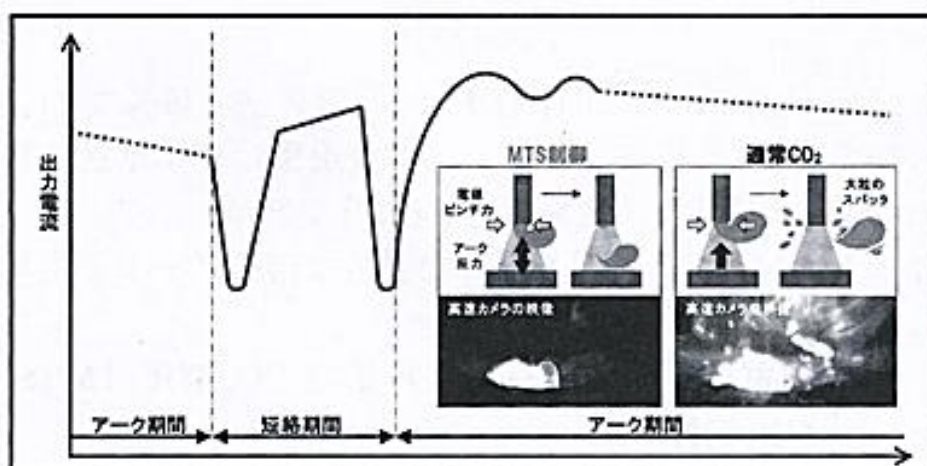


図 262-02 MTS 制御

3)-1 MTS 制御の効果

CO₂ 溶接における MTS 制御の効果を従来の CO₂ 溶接と比較したものを図 262-03 に示す。CO₂ 溶接では、そのアークの反力によって、溶滴に上向きの力が作用する。このことが溶滴のワイヤからの離脱を妨げ、大きな溶滴形成の要因となることが知られている。アーク期間中に大きく成長した溶滴は、同じアーク長でも小さな溶滴と比較して短絡しやすいばかりでなく、短絡した場合、溶融プール外に飛散した場合にはスパッタとして母材に付着し、溶滴が大きい

が故に付着スパッタは除去が難しい。一方、MTS 制御を用いた CO₂ 溶接ではアーク反力による溶滴の飛散を抑えることで溶滴の成長を抑制し、ワイヤから小粒の溶滴径で離脱させることが可能となった。

具体例として、スパッタ発生量の比較を図 262-04 に示す。CO₂ 溶接での高電流・高速溶接時のスパッタ発生量を 350A 領域で従来フルデジタル溶接機 500GB2 対比 MTS 制御を実用化したフルデジタル電源

	アーク期間中	溶滴離脱時
MTS制御	 MTS制御による 巨大な溶滴成長の抑制	 小溶滴の離脱 短絡無し
従来制御	 溶滴の遠い上がりによる 巨大な溶滴成長	 巨大溶滴の離脱による 短絡発生

図 262-03 MTS 制御の効果

450GZ3 では 約 2/5 と大幅に削減できた。

さらに, CO2 溶接, 350A 領域にて発生したスパッタを粒径で分類し, 従来のフルデジタル溶接機と 450GZ3 で比較した結果を 図 262-05 に示す。大粒のスパッタほど MTS 制御によるスパッタ低減効果が大きいことが分かる。

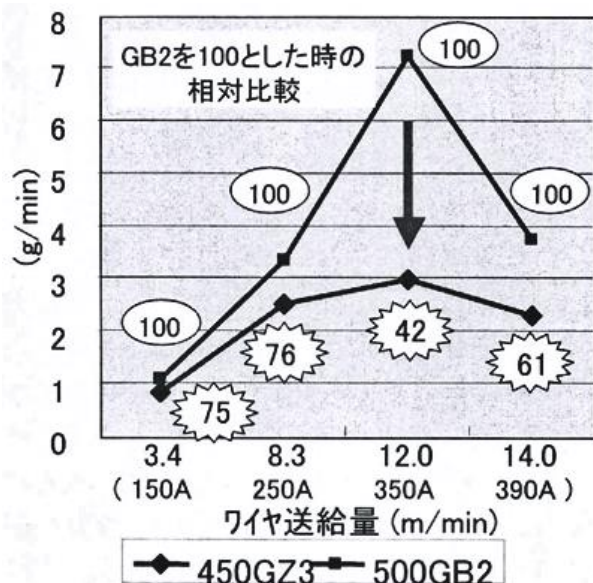


図 262-04 スパッタ発生量の比較

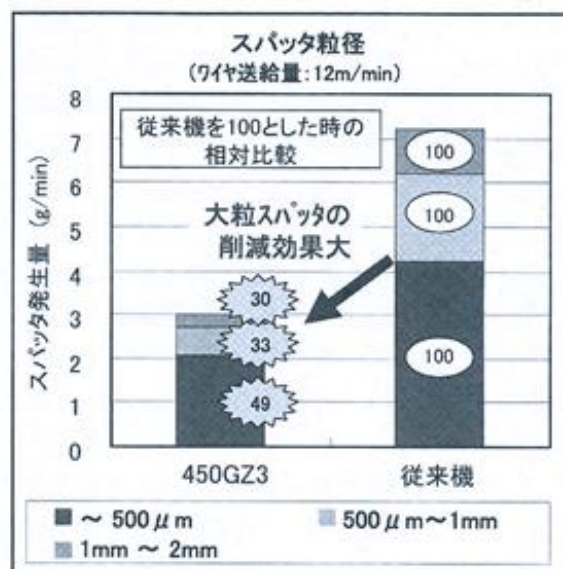


図 262-05 CO2 スパッタ径の比較

2. 新入熱制御法；H E A T 工法（P-5 文献より引用）

P 社では SP-MAG 溶接法, HD-Pulse 溶接法および本話で上述した MTS-CO2 溶接法に代表される波形制御法によるスパッタ低減のほかに, コレット形チップを適用し突き出し長さを長くし, I^2R 法に基づくワイヤの抵抗発熱を積極的に利用した溶接法を開発され, スパッタ低減に効果を発揮するとして P-5 文献に紹介してある。以下にそれら溶接法への考え方とその効果の一例を引用します。

1) HEAT 工法の概要（原理）

軟鋼系・SUS 系等の抵抗値が大きな材質のワイヤでは, チップ-母材間距離を長くするとワイヤ突き出し部の抵抗発熱により, 溶接電流が下がることが一般に知られている。溶落ち, アンダーカット対策として施工面からの工夫で, チップ-母材間距離を長くすることがあったが, ワイヤ狙い位置のズレ・アーク安定性の確保が難しく一般的に使用されていなかった。また, チップ先端に絶縁物を埋め込むことにより, 通電点と母材間の距離を長くし, 抵抗発熱に寄与するワイヤの長さを長くするとともに, ワイヤ狙いズレを解消するチップがあったが, アーク安定性の点で課題があった。そこでワイヤ狙い位置のずれとアーク安定性を満足する溶接法を開発したのが「High Efficiency Advanced Tip 工法」であり, 通称 HEAT 工法と呼んでいる。

それでは, HEAT 工法について以下に説明する。
ワイヤの溶融速度は次式で近似される。

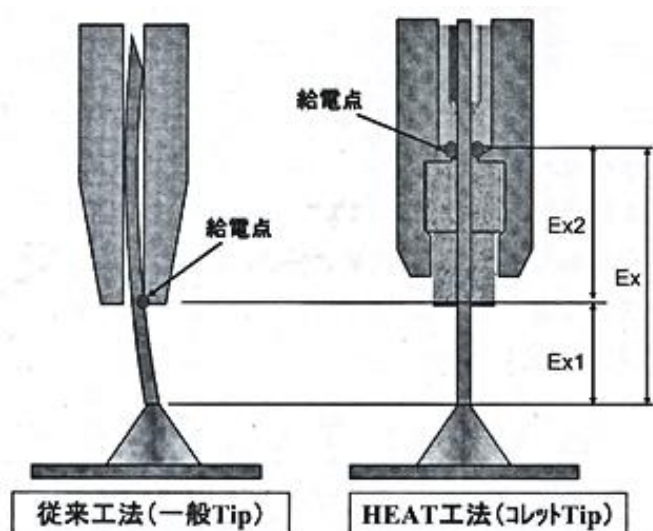


図 262-06 一般チップとコレットチップの断面模式図

$$V_F = \alpha I + \beta ExI^2$$

V_F ；ワイヤ溶融速度 (m/s) I ；溶接電流(A)

Ex ；ワイヤ突き出し長さ(mm) α , β ；ワイヤ固有定数

上式で、ワイヤ溶融速度 V_F を一定とすると、ワイヤ突き出し長さ Ex が大きくなると溶接電流 I が小さくなる。すなわち、溶接電流が下がることになる。

P社が開発した HEAT 工法では、チップでの給電方法に新方式を導入している。ワイヤ給電部をティグトーチのタングステン電極締付部のようなコレット仕様とすることにより給電を安定させる方式を採用している (図 262-06)。

この方式により、従来工法の一般チップの突き出し長さ $Ex1$ に加え、ワイヤ突き出し長さ $Ex2$ を長くすることができ、ワイヤ突き出し長さ $Ex2$ が長くなった部分を流れる電流による抵抗発熱量の増加を利用し、ワイヤを溶けやすくし、ワイヤ溶融速度を高めることにより、溶融効率を上昇させることができる。

2) HEAT 工法によるスパッタ低減

上記に記載したように、ワイヤ突き出し長さ $Ex2$ が長くなり Ex が大きくなるので、溶接電流 I を低下させることができる。したがって、HEAT 工法では同じワイヤ送給速度で溶接電流をさげることができるので、スパッタ低減効果を得ることができる。

同じ溶着金属量で溶接する場合、図 262-07 のように、SP-MAG (短絡溶接) では溶接電流を低減できるので、スパッタ発生量の低減が可能となる。

とくに 230A 以上のグロービュール移行領域で溶接する場合、HEAT 工法で同じワイヤ送給速度で溶接すると 200A 以下に低減し、グロービュール移行領域を脱することができ、スパッタ低減が可能である。また、スパッタ発生の要因であるアーク不安定も低減できるため美しいビードを形成することができる。

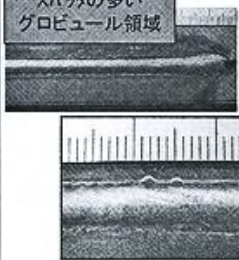
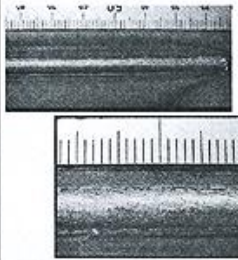
	従来工法(一般Tip)	HEAT工法(コレットTip)
出力条件	223A17.6V	198A18.0V
ワイヤ送給量	5m/min	5m/min
溶接速度	1.0m/min	1.0m/min
ビード外観	 スパッタの多い グロービュール領域	
備 考	不安定なグロービュール領域のため スパッタ増・ビード際不均一	安定した短絡領域のため、 スパッタ少・ビード際均一

図 262-07 HEAT 工法とビード外観の比較

筆者コメント；

大同特殊鋼(株)に勤務していた時代に、上記 HEAT 工法と類似の I^2R 法に基づくワイヤの抵抗発熱を積極的に利用した溶接法 (通称ホットマグ溶接法) の開発^{*2)} に取り組み、現在でも一部ユーザにて適用頂いている。開発・実用化にあたって今、思い出す課題は 2 点あり、以下に記します。参考になれば幸いです。

- ① アークスタート性がどうしても悪くなる傾向。溶接電源とのタイアップが必要。
- ② 高溶着量を獲得することは容易にできるが、それらの溶着金属をビード幅の適正な、フラットなビードにすることが困難な場合が生ずる。シールドガスあるいは溶接ワイヤ成分の助けも必要になりそうです。

以上。

*****参考文献*****

* 1) アーク溶接の世界；1996 年 11 月(社)日本溶接協会 電気溶接部会 技術委員会編

パート II アーク溶接の基礎知識 II-10 ワイヤ先端に働く力 (その 2)

* 2) 大同特殊鋼 溶材販売部 高木柳平, 大同特殊鋼 技術開発研究所 上仲明郎・乾 圭吾・堀尾浩次
高溶着溶接技術「ホットマグ溶接法」の開発とその適用 溶接技術 第 49 巻第 12 号 P97~103