アーク溶接　第 273 話　ダイヘンＧＤ６／電流波形制御とその進化を知る（2/2）　　高木柳平

前話に引き続きとして，**「電流波形制御とその進化」**について**D社文献 D-13** より引用して紹介します。ストーリーは，前話にも記したように　　枠 の項目より引用します。前話の「②国内動向」の記事のなかにもありましたように，溶滴移行に関し，当時のアーク物理研究委員会で，電磁ピンチ力による強制移行（短絡移行）と表面張力による橋絡移行として，新たに分類された などの記述に，筆者としては目が行きました。くびれ検出-電流急減-スパッタ発生の抑制 や 正送・逆送溶接など表面張力による橋絡移行の考えを取り入れイメージすると理解しやすいことが多々あるのではないかと考えられます。

それでは，炭酸ガス・マグ溶接電流波形制御によるスパッタ低減の各項の説明に移ります。

- **炭酸ガス・マグ溶接電流波形制御によるスパッタ低減**
  - ■ 黎明期における研究動向　①海外動向　②国内動向
  - ■ インバータ制御化によるスパッタ低減
  - ■ デジタルインバータ制御式溶接電源の電流波形制御によるスパッタ低減
    - ① DAC 法による高速低スパッタ溶接
    - ② coldArc 法による低スパッタ化
    - ③ Surface Tension Transfer 法による低スパッタ化
    - ④　J-SAR 溶接法による CO2 溶接の低スパッタ化
    - ⑤　CBT-EX 法による低スパッタ化

1）インバータ制御化によるスパッタ低減

・・・・(略)・・・・。インバータ制御式溶接電源の場合は，サイリスタ制御式溶接電源の 100 倍以上の速度で出力制御が可能であるため，直流リアクトル（以下 DCL）を従来溶接電源の 1/10 程度とし，電子回路で別途作り出したインダクタンスを重畳することで電流域毎にインダクタンスを適正化することで，様々な溶接材料に対して一つの溶接電源でアークを安定化することが可能となった。また，出力制御の高過渡応答性能を活かして新しい電流波形制御法が提案され，低スパッタ性能が飛躍的に向上した。主な制御法をまとめると図 273-1 のようである。

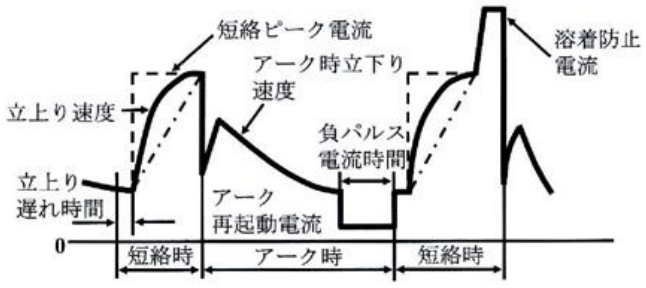

図 273-1　低スパッタを目的とした電流波形制御法の例

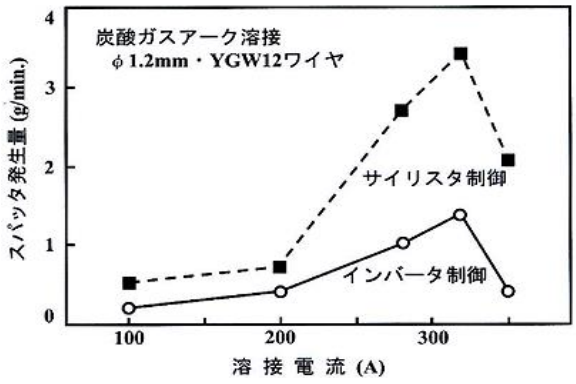

図 273-2　溶接電流波形制御法によるスパッタ発生量の比較

■“立ち上がり遅れ時間”は，短絡の発生後数 ms は短絡電流の立ち上がりを遅らせることで溶滴を確実に移行させ，瞬時短絡によるアーク再点弧を防ぎ，アーク再点弧時のスパッタの発生を抑制している。

■“立ち上がり速度制御”は，短絡時間を経過するに従い短絡電流の傾斜を緩やかにすることで，不要に高い短絡電流を通電することを阻止し，アーク再点弧時のスパッタの発生を抑制している。
■“アーク時立下り速度制御”は，均一な溶滴形成とその形状成形を行なうことで短絡移行を安定化し，瞬時短絡の防止により，アーク再点弧時のスパッタの発生を抑制している。

図 273-2 は，これらの制御手法を搭載したインバータ制御式溶接電源と従来のサイリスタ制御式溶接電源とで，スパッタ発生量を比較して示しており，ほぼ全電流域でスパッタ発生量が半減していることがわかる。

2）デジタルインバータ制御式溶接電源の電流波形制御によるスパッタ低減

2）- ① DAC（Dynamic Arc Control）法による高速度低スパッタ溶接

2000 年代に入ると，安価な高速演算可能なデジタル素子が入手できるようになり，溶接電源のデジタル制御化が急速に進んだ。図 273-3 に Dynamic Arc Control 法（以下，DAC 法）による炭酸ガスアーク溶接法の電流・電圧波形の一例を示す。デジタル演算素子の採用により，溶接電源に搭載された DCL にとらわれず高速な過渡応答性を実現することが可能になり，従来のインバータ制御式溶接電源と比べて複雑な電流波形を出力することが可能となった。

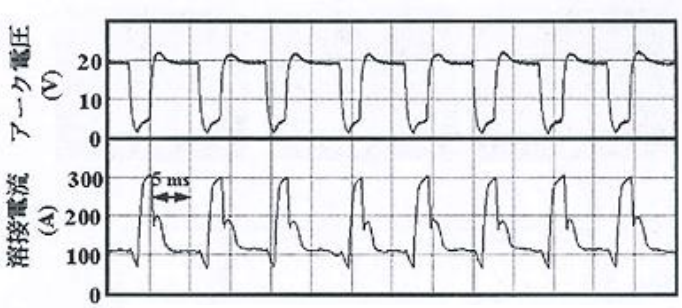

図 273-3　DAC（Dynamic Arc Control）法

この効果により，炭酸ガスアーク溶接法のようにワイヤ先端の溶滴が形成される溶接法であっても，制御性能を高めてアークを安定化するとともに，スパッタの発生も抑制することが可能になった。図 273-4 は，シールドガスに炭酸ガス，1.2mm 径ソリッドワイヤを用いて 200A で軟鋼のビードオンプレート溶接を行った結果である。

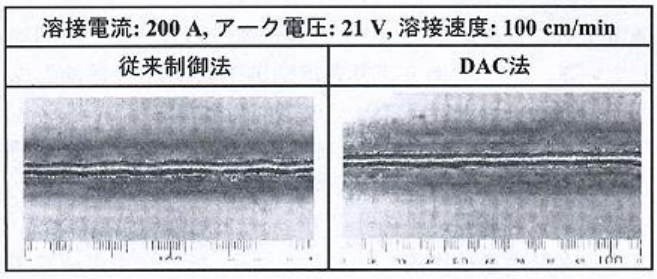

図 273-4　従来電源と DAC 法搭載溶接電源のビード外観比較

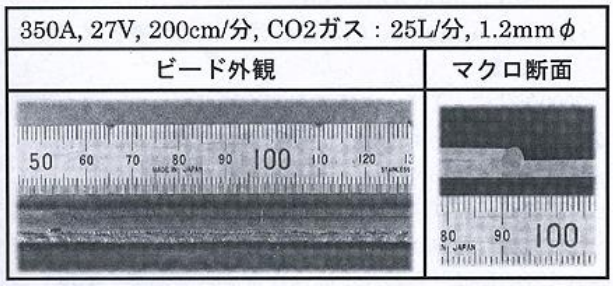

図 273-5　DAC 法搭載電源による重ね隅肉継ぎ手の高速溶接例

この電流域は，溶滴移行が短絡移行とグロビュール移行が不規則に変化する不安定な移行領域である。溶接中にランダムに発生する大きな溶滴が，溶接進行方向の左右に不規則に落下するとビードが蛇行する。従来の一般的な汎用インバータ制御式溶接電源では明らかにビードが蛇行しているのに対して，DAC 法を搭載した溶接電源の場合，溶滴移行の安定化によって大粒の溶滴の発生を抑制でき，ビード蛇行が小さいことがわかる。

図 273-5 は，重ねすみ肉溶接にて 230cm/min の高速溶接を行った結果を示しており，高電流かつ低電圧の短いアーク長によりアンダーカットの少ない安定したビード外観を実現している。

2）- ②　coldArc 法による低スパッタ化

溶接電源のデジタル制御化のもう一つの例として，S.F.Goeche の coldArc 溶接法を紹介する。図 273-6

に示すように，薄鋼板の低入熱溶接プロセスとしてアーク再点弧時のスパッタを抑制するため，アーク再点弧電圧を DSP によって高速･高精度で検出すると電流を急減させるとともに，アーク期間になるとパルス状の電流を通電して溶滴を形成すると，即座に低い電流に抑制して次の短絡を促す電流波形制御法を採用している。

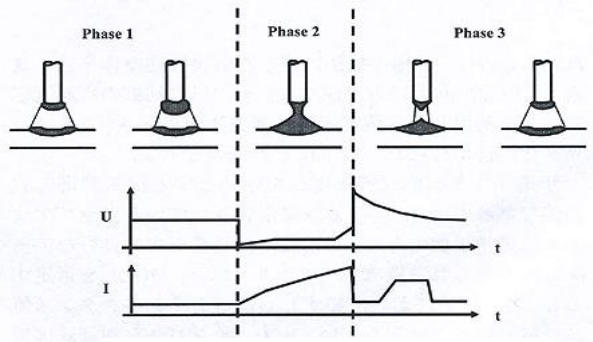

図 273-6　coldArc 法による電極波形制御

2）- ③　Surface Tension Transfer 法による低スパッタ化

・・・・(略)・・・・。実用化の一例として，E.K.Stava による Suface Tension Transfer（以下，STT）法を搭載した溶接電源の制御法について紹介する。

低スパッタ制御のため，短絡期間中の溶滴のくびれを検出し，アーク再点弧時のスパッタの発生を抑制する低スパッタ電流制御法である。図 273-7 に電流波形例を示す。アーク期間中は，ブースト電流と呼ばれるパルス状の電流を出力して溶滴を形成すると，バックグランド電流と呼ばれる一定の電流値まで指数的に電流を減少させている。アーク期間中の電流にフィードバック制御が含まれていないため，比較的高度な技術を持った溶接士や，ロボット溶接向けの電流波形制御法である。

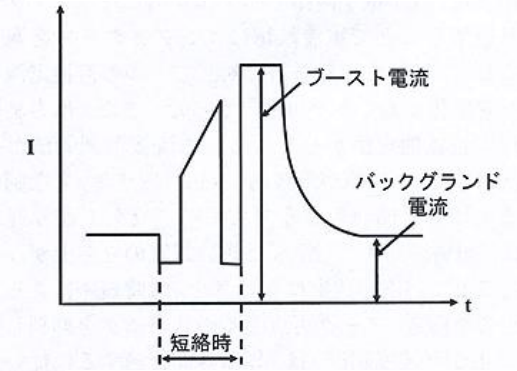

図 273-7　ＳＴＴ法による電極波形制御

2）- ④　J -Star 溶接法による炭酸ガスアーク溶接の低スパッタ化

ソリッドワイヤの化学成分として Rare Earth Metal（以下，REM）を添加し，溶接時の極性を棒マイナス（Electrode negative）（以下，EN)とすることで, ワイヤ径 1.2mm の炭酸ガスアーク溶接において 250A 以上の溶接電流の領域で低スパッタ化を実現する J -Star 溶接法が開発されている。 図 273-8 に J -STAR 溶接法における溶滴移行を，棒プラス（Electrode positive）（以下，EP）と比較して示す。一般的に EN 極性の溶接では, ワイヤ先端にワイヤ径の 2～3 倍の溶滴がぶらさがって不安定なドロップ移行になり，非常に不安定なアークになることが知られている。J -STAR 溶接法では，表 273-1 の開発ワイヤの化学組成例に示すように，REM の添加で溶滴移行をスプレー化して溶滴移行を安定化し，また，スパッタの発生も非常に少なく高品質溶接を実現している。

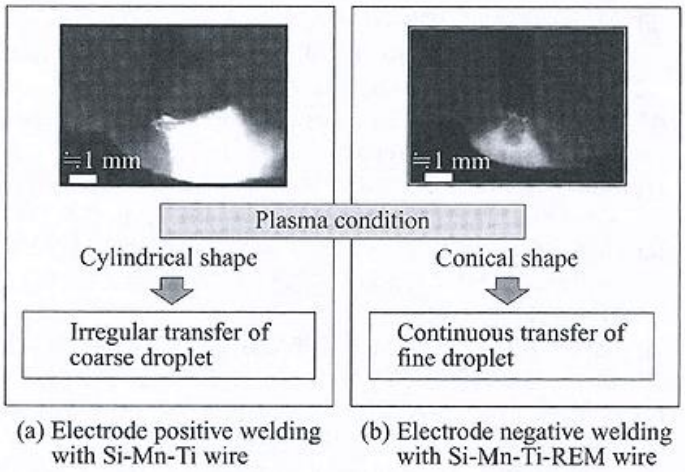

図 273-8　炭酸ガスアーク溶接法における EP 溶接時と J -STAR 溶接法の溶滴移行比較

表 273-1　J -STAR 溶接法に用いる開発ワイヤの化学組成例

(mass%)

Type	C	Si	Mn	P	S	Ti	Other
Si-Mn-Ti-REM KC-500	0.05	0.7	1.6	0.01	0.01	0.2	REM

JIS Z 3312, YGW11

2）- ⑤　ＣＢＴ-ＥＸ法による低スパッタ化

P.Boughton や I. S .Pinchuk らによって研究された低スパッタ電流波形制御法のもう一つの実用化例を示す。STT 法が，アーク期間の電流についてフィードバック制御を行わない固定の出力波形であるのに対して，アーク期間の電流制御法として DAC 法を採用した Controlled Bridge Transfer(以下，CBT)法が開発されている。

半自動溶接時の手ぶれ等の外乱に対しても，アーク長制御の導入により短絡移行領域の溶滴移行を安定化することで，低スパッタ性能を発揮することが可能である。また，ミグ溶接においては，アーク長を示さない異常電圧や外乱に相当する電圧をデジタルフィルタによって除去し，安定した高速溶接を実現することが可能である。さらに，EP 期間と EN 期間を要する交流溶接法に拡張することで，1.0mm 未満の極薄鋼板の溶接に対して，優れたギャップ裕度や狙いずれ裕度を発揮することが可能である。

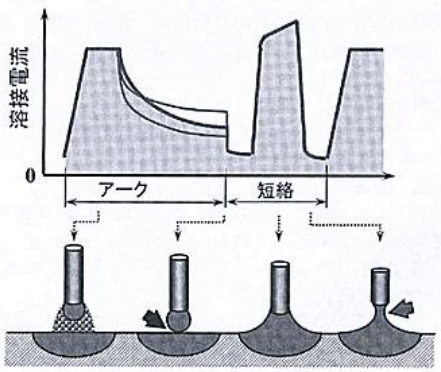

図 273-9　CBT-EX 法によるマグ溶接電流波形制御

最近では，溶接制御専用に開発された ASIC を搭載した溶接電源が開発されており，溶滴移行が不安定でアーク再点弧時のスパッタ低減が難しいグロビュール移行でのスパッタ低減を可能にする Controlled B ridge Transfer-Expanded（CBT-EX）法が提案されている。マグ・ミグ溶接法における電流波形制御例を図 273-9 に示す。グロビュール移行の電流域においては，アーク期間の初期にパルス状の電流を通電して溶滴を形成すると，ASIC による高速演算機能を用いてアーク期間の電流を精密に制御することで，不安定な溶滴移行による瞬時短絡を抑制し，アーク期間の溶滴サイズを一定にして短絡を促す電流波形制御を行っている。これによりグロビュール移行の電流域においてもほぼ 100%の確率でアーク再点弧時のスパッタを抑制するとともに，短いアーク長でも安定した溶滴移行を実現しており，低スパッタ性能を実現している。図 273-10 は，CBT-EX 法をマグ溶接に適用した例である。一方，炭酸ガスアーク溶接時には，アーク力によって溶滴が押し上げられて不安定な溶接移行となることが知られている。CBT-EX 法では，図 273-11 に示すように，アーク期間の初期に三角波を重畳しているのが特徴である。高速送給されるワイヤを三角波重畳による高いピーク電流で効率良くワイヤ溶融させて溶滴を形成し，それと同時に溶滴にかかるアーク反力を弱め，アーク時間が不安定になって溶滴サイズがばらつくことを抑制しているのが特徴である。これにより炭酸ガスアーク溶接におけるグロビュール移行の電流域でも不安定な溶滴移行を安定化し，マグ・ミグ溶接時と同様に短いアーク長を保って低スパッタで高速溶接を行うことができる。図 273-12 は，CBT-EX 法を炭酸ガスアーク溶接に適用した例を示している。板厚違いでギャップを有する重ねすみ肉の溶接ではあるが，十分な溶込みを確保し，上板を焼き切ることなく安定した溶接ビードを実現している。

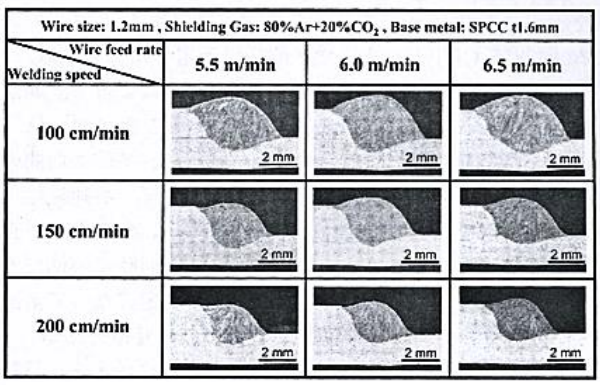

図 273-10　CBT-EX 法による重ね隅肉のマグ溶接結果

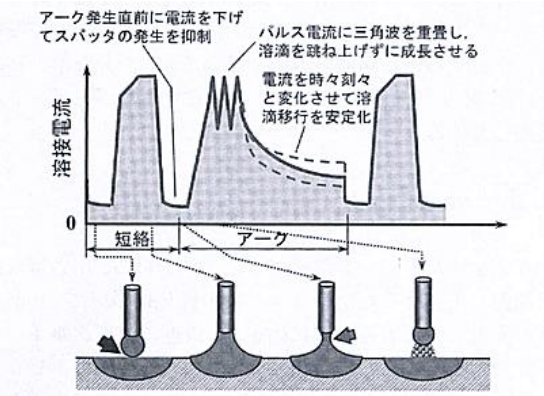

図 273-11　CBT-EX 法による炭酸ガスアーク溶接電流波形制御

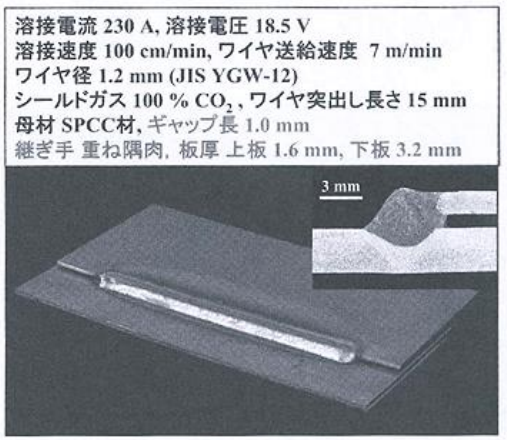

図 273-12　CBT-EX 法による重ねすみ肉継手の高速溶接

次話では，D社**文献 D-14** などの連載講座より「**亜鉛めっき鋼板の溶接**」について紹介します。 **以上。**