

アーク溶接 第 263 話 グループ GD3（その 1）の紹介／低入熱制御への取組み 高木柳平
 --- 直流 GMA 溶接電源による入熱制御 ---

本話では、D 社における溶接電源・制御の開発とその進化について、第 258 話および第 259 話に引き続きグループ GD3（その 1）として「低入熱制御への取組み」を主題として紹介します。

既に D-2 文献の紹介のなかで、軟鋼の薄板溶接用低入熱・低スパッタ溶接機「DL350」電源における正極性マグ溶接の事例を、また、インテリジェントフィルタによるアーク長情報の抽出およびアーク長情報電圧をパルス外部特性によるアーク長制御に適用することによって極低電流における安定な 1 パルス 1 溶滴移行を達成した「DP-350」電源の事例などを、みてきました。

そこで、グループ GD3 文献のなかにみる低入熱溶接制御法のいろいろを、筆者なりに分類して表 263-1 に示します。

自動車産業界では、車体軽量化のため薄板の高張力鋼の使用が増加している。しかし、薄板アーク溶接においては板厚以上のギャップが多数存在し、一般のワイヤプラス極性（逆極性）のマグ・炭酸ガス溶接では入熱過多で溶落ちが発生してしまう。一方、ワイヤマイナス極性（正極性）のマグ・炭酸ガス溶接の入熱は少ないが、アークが安定し難いため条件裕度が狭く、とりわけスパッタの発生が多い。

そこで、正極性マグ・炭酸ガス溶接のアーク安定性を改善し、電流波形制御でスパッタの発生を極力抑制し低入熱と低スパッタを同時に実現する溶接機「DL-350」を開発したと、まえがきに記されている（D-2 文献の 4 項より抜粋）

そこで、正極性マグ・炭酸ガス溶接のアーク安定性を改善し、電流波形制御でスパッタの発生を極力抑制し低入熱と低スパッタを同時に実現する溶接機「DL-350」を開発したと、まえがきに記されている（D-2 文献の 4 項より抜粋）

以下、表 263-1 に掲げた各種入熱溶接制御法のいろいろについて、順をおって概要の説明をします。

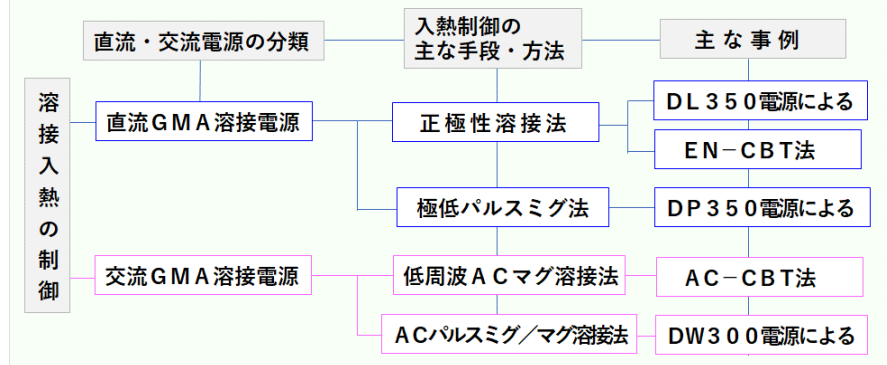
1) 正極性溶接法の開発・・・軟鋼の薄板溶接用低入熱低スパッタ溶接機「DL-350」(D-2 文献より)

■ 開発の要点；

- ・くびれを検出し、約 30 A まで電流を急減 → スパッタ抑制効果
- ・正極性で起こりやすいワイヤの過大な溶融とそれにとまなうワイヤ先端の大粒の溶滴の懸架も抑制。
- ・また、抽出されたアーク長電圧信号に基づき、アーク期間中にデジタル制御で溶接電流を増減させ、アーク安定性を向上している。

上述のように、正極性溶接プロセスに適したアーク安定化制御により安定した低入熱溶接を実現し、くびれ検出制御によりスパッタの発生を極力低減できた。ギャップ裕度やねらいずれ裕度が広く、薄板鋼材の低入熱低スパッタ溶接に最適な機種とされる。

表 263-1 D 社における低入熱溶接制御の分類（例）



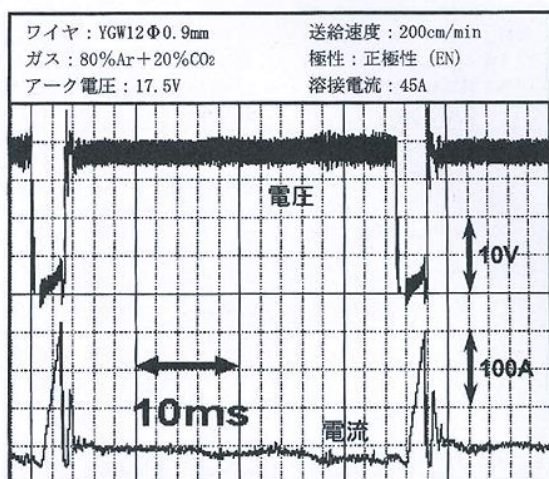


図 263-1 正極性マグガス溶接における電流・電圧波形

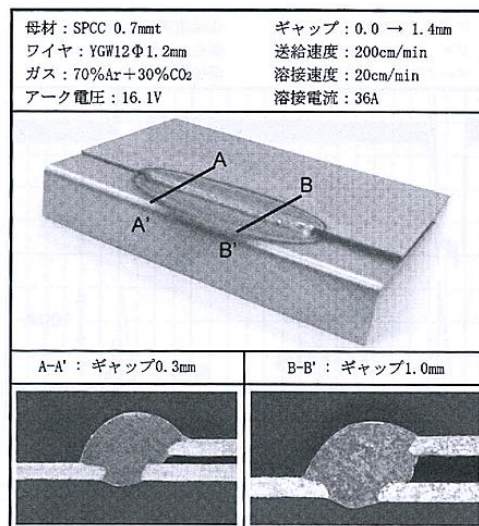


図 263-2 正極性溶接の広いギャップ裕度

2) EN-CBT 法・・・CBTによるスパッタ低減 低スパッタ・低入熱 GMA 溶接 (D-3 文献より)

- ・EN極性では、母材への入熱より溶接ワイヤへの入熱が大きくなる。このため EP 極性に比べてワイヤ溶融速度が速くなる。(図 263-3 参照。)
 - ・一方、EP 極性に最適化された溶接電源の出力特性を入れ替えて EN 極性溶接を行うと、ワイヤ先端に大粒の溶滴が形成されやすく、かつ暴れやすいので、アークを安定化させることが難しい。よって、一般的に、電圧を下げて短絡が多く発生する溶接条件でしかアークが安定せず、ビード外観が凸ビードになりやすい。
 - ・EN-CBT 法では、以下の考え方によって波形制御の最適化を行っている。すなわち、EN 極性時にワイヤ先端の陰極点の挙動が電圧変動になって現れるが、外乱に対する過渡応答の改善のため、指令演算に瞬時電圧を適度に利用し、EN 極性向けに最適なアーク特性となるよう溶接波形制御の最適化を行っている。
- この結果、単位時間あたりの短絡回数を無理に増やさなくてもアークを安定化させることが可能で、凸ビードからフラットなビードまで自由に調整できる。

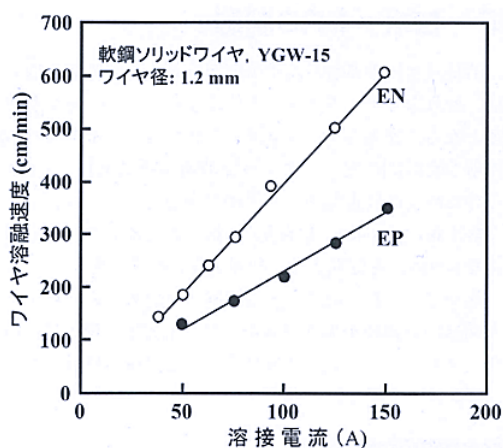


図 263-3 ワイヤ溶融速度の比較

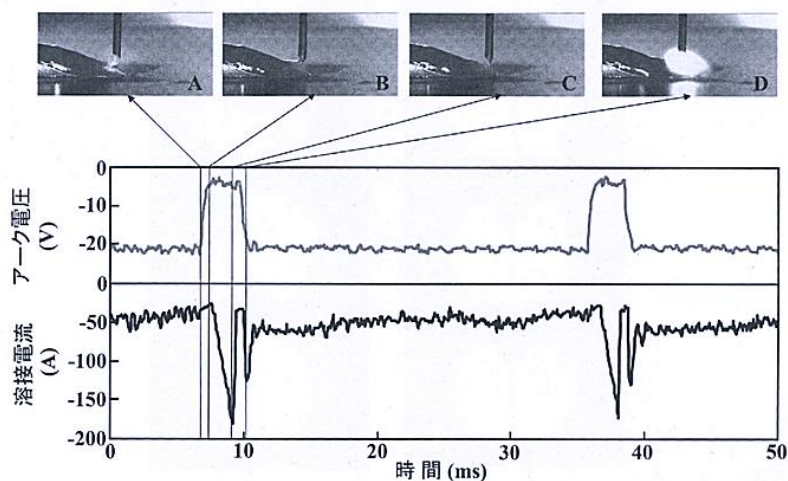


図 263-4 EN-CBT 法による溶滴移行

図 263-4 はハイスピードカメラにて EN-CBT 法でマグ溶接 (Ar+20%CO₂) を行った場合の溶滴移行と電流・電圧波形を同期させて示したものである。コマDに示すようにアークが再点弧しても、スパッタが発生していない。また、溶接電圧のリップルは、溶滴表面の陰極点の動きを示している。アーク時間が約 30ms と

長いが、短絡・アーク周期が安定していることがわかる。

EN-CBT 法と従来汎用インバータ制御溶接電源の出力極性を入れ替えた EN 極性溶接とで、CO₂ 溶接時のスパッタ発生量を比較すると、従来汎用インバータ制御溶接電源の場合、80A 以下の電流域でも概ね 0.5g/分以上のスパッタが発生するのにに対し、EN-CBT 法では約 0.1g/分以下までスパッタの発生を抑制し、最大 6 分の 1 までスパッタを抑制することができる。

図 263-5 は EN-CBT 法の適用例を示したものである。ギャップ幅が 0.0mm から 1.4mm までテーパ状に変化する板厚 0.7mm の JIS SPCC 材の重ね継手に対し、同一条件にてスパッタ痕および溶落ちのない美しいマグ溶接が可能である。

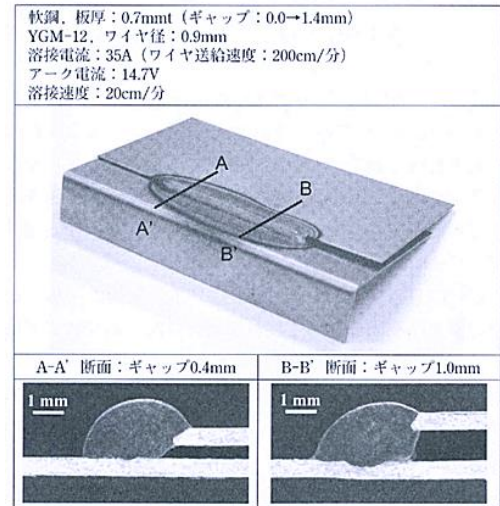


図 263-5 EN-CBT 法による薄鋼板重ねすみ肉溶接

3) 極低電流パルスミグ溶接・・・アルミ薄板パルスミグ溶接とその制御 (D-7 文献より)

溶接入熱量は一般に次式で示される。

$$\text{■ 入熱量 (J/cm)} = \text{溶接電流 (A)} \times \text{アーク電圧 (V)} \times 60 / \text{溶接速度 (cm/min)}$$

溶接入熱は溶接電流、アーク電圧および溶接速度で定義される。CO₂ アーク溶接やマグ溶接に代表される消耗電極式の GMA 溶接ではアークの安定を確保しつつ、溶接電流やアーク電圧を広範囲に設定できるかが重要になる。アークの安定を確保するために、デジタル・インバータ式溶接電源では主に以下のような開発、改善が進められ、標記のような極低電流パルスミグ溶接法の達成も成し遂げたその一つと言える。

- ① 出力制御周波数が従来のインバータに比べ 2 倍以上を実現しており、より高精度の溶接電流波形制御を可能とした。
- ② アーク安定化に著しく寄与する技術として D 社では第 358 話でも記したように、インテリジェントフィルタによるアーク長情報の抽出技術およびパルス外部特性制御によるアークの安定化技術の効果が大きいと推定できる。

これらの技術を駆使して作り上げたのが、図 263-6 にみるようにサイズ 1.2mmΦ の Al-Si 系溶接ワイヤを用いた平均溶接電流 23A のパルスミグ溶接の例である。D-7 文献によれば、ベース電流が 10A 程度に設定されているが、アーク切れなどは全く発生せず、パルス周期に同期した溶滴移行が規則正しく、安定的に行われている。図 263-7 はその溶接結果の一例を示したものである。従来、このような薄板アルミニウムの溶接にはティグ溶接した適用できなかったが、パルスミグ溶接でも良好な溶接結果が得られている。

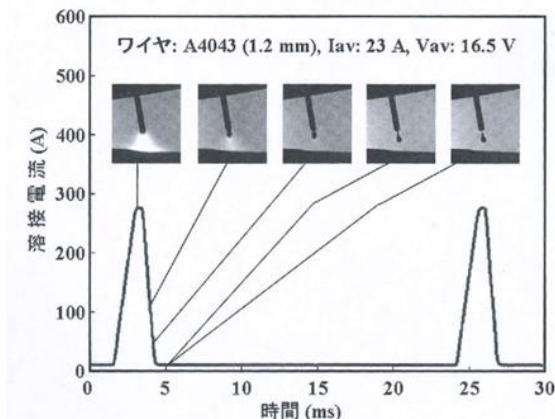


図 263-6 極低電流パルスミグ溶接

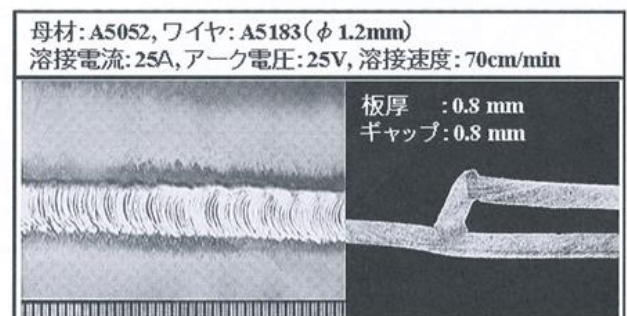


図 263-7 極低電流パルスミグ溶接結果の一例

なお、デジタルフィルタのことなどアーク長安定化について D-13 文献において、より詳細に記されているので一部を以下に引用しておきます。参照下さい。

補足； アーク長安定化への考え方；

- いずれも、周波数を増減 or パルス幅を増減することによって溶接電流を増減している。

①パルス周波数変調方式 ②パルス幅変調方式 (図 263-8 参照)

- アーク現象による外乱の一例を挙げると、シールドガスとして高い比率の純アルゴンを用いる場合、シールドガス雰囲気、溶滴および熔融池中の酸化物が少なくなり、より仕事関数の低い酸化物を求めて陰極点を大きく不規則に移動しやすくなる。

■ デジタルフィルタによる異常電圧の概念

ベース期間中はアークの指向性が弱く、陰極点の形成が不安定になり易いので、陰極点がワイヤ先端直下から大きく離れた時に見かけのアーク長を示さない異常電圧を発生し易い。

この異常電圧を異常値として判別し、デジタル演算で求めたアーク特性上の電圧値を代入し補うことで、見掛けのアーク長を示す電圧を抽出することができる。

■ インテリジェントフィルタによるアーク長情報の抽出 (D-2 文献より)：

ソフトウェアによって実現され、溶接中にアーク長の変化に応じて自動的にフィルタのパラメータを修正することによって異常なアーク電圧を合理的に除去でき、正しいアーク長情報を抽出してパルス周波数の乱れを防ぎ、アーク安定性そして溶接品質安定性の向上に大いに寄与する。

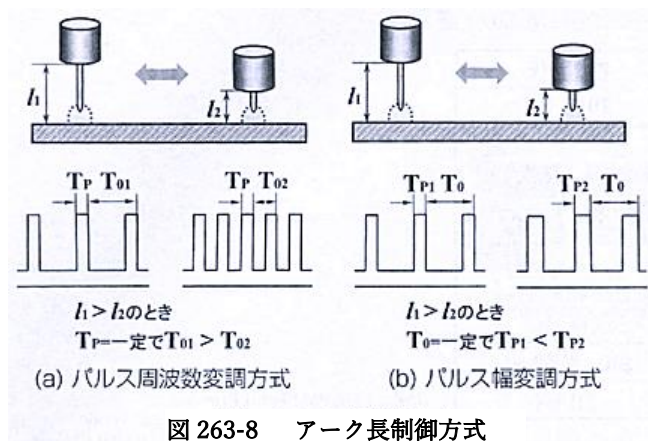


図 263-8 アーク長制御方式

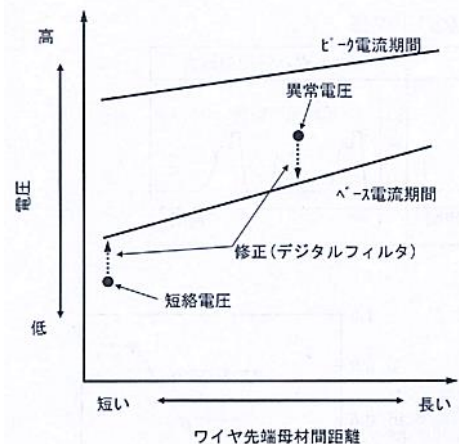


図 263-9 異常電圧除去の概念

■ パルス外部特性制御によるアークの安定化 (D-2 文献より)；

- ・ 定電圧特性の溶接電源外部特性では、アーク電圧が高ければ溶接電流が大幅に減少してワイヤ溶融量も過大に減少するため、見掛けのアーク長は短くなり過ぎる。
- ・ この問題を解決するために、パルス溶接電源の外部特性の傾きを任意に制御できるアーク長制御アルゴリズムを開発した。溶接電流に応じて傾き K (V/A) を設定すれば全電流域にわたってアークの安定性と追従性を最適化できる。

なお、次話 第 264 話では筆者が大同特殊鋼(株)勤務時代に研究したホットマグ溶接法のなかで、正極性溶接（当時のインバータ溶接電源との組合せ）のデータが少々ありましたので、当時実験した正極性溶接法への思い出とともに披露させていただきます。

以上。