

ダイヘン殿の溶学誌、溶接技術誌に 2000 年初～2015 年頃までに掲載された主要な文献の紹介をグループ 1（GD1）よりはじめましたが、本話で紹介するシンクロフィード溶接法（GD8）でもって終了とさせていただきますことにします。

ダイヘン殿のアーク溶接に関するホームページを拝見しますと、シンクロフィード溶接システムに関する部分がたいへん多いことに気付かされます。2015 年 7 月号に「シンクロフィード GMA 溶接法の開発」（溶接技術誌）と題して発表されて以来、既に 7 年有余が過ぎ、その間に価値ある溶接システムに成長を遂げられたものと推察します。

そこで GD 8 の文献紹介の前に、D 社ホームページ上の「シンクロフィード溶接システム」を概観した上で、その基礎技術であるシンクロフィードの特徴、考え方を GD8 文献に従って紹介させていただきます。

## 1. D 社ホームページ上における「シンクロフィード溶接システム」の概要

DAIHEN「シンクロフィード溶接システム」動画より引用

### 1-1 溶接プロセス技術+ロボット制御技術

- 「常識を覆す新溶接プロセス」ワイヤ送給と溶接電流波形の高速同期
- 低スパッタの限界に迫る・・・シンクロフィード

最大 98% のスパッタ削減・・・従来法とシンクロフィードの比較を図表、写真動画を使い CO2 法と MAG 法において表示。

### 1-2 シンクロフィードの特徴

- 1) 業界初！ 中厚板で深い溶け込み
- 2) 薄板の低入熱溶接
- 3) 広い適用材料
- 4) 究極の低スパッタテクノロジー

以下に、ホームページ動画より PR してある各項のあらましを抜粋し、引用しておきます。

なお、字句だけではわかりにくいので詳しく知りたい方は同ホームページにアクセスして下さい。

#### 1) 業界初！ 中厚板で深い溶け込み

- ウィービングでも極低スパッタ・・・300A で使用率 100% の連続溶接に対応  
図 箱型水平隅肉溶接部において従来法とシンクロフィードとの比較  
溶接条件；300A 30cm/min ウィービング周波数 1.5Hz 板厚 12mm
- 母材へのスパッタの付着なし  
写真；従来法とシンクロフィードとの比較  
溶接条件；300A 30cm/min ウィービング周波数 1.5Hz 板厚 12mm
- 中厚板でも十分な溶け込み  
写真；断面マクロ写真

#### 2) 薄板の低入熱溶接

- 薄板の低入熱溶接
- ・ 安価なΦ1.2 ワイヤでも高品質溶接・・・ワイヤコスト最大 30% 低減  
写真；薄板重ね隅肉溶接において従来法とシンクロフィードとの比較  
溶接条件；60A 150cm/min 板厚 0.6mm
- ・ 薄板でも溶落ちせず、広いギャップ裕度  
写真；板厚 0.6mm の突合せ溶接と重ね隅肉溶接  
溶接条件；50A 70cm/min 板厚 0.6mm

### 3) 広い適用材料

- ステンレスでも極低スパッタ  
写真；ステンレス薄板の重ね隅肉溶接におけるシンクロフィード法による
- 250cm/min の超高速溶接  
画像；薄肉パイプの突合せ下進溶接
- 亜鉛めっき鋼板でも極低スパッタ . . . . . 十分な溶込み（アーク画像とマクロ断面の画像）
- アルミニウムでも極低スパッタ . . . . . 低スマット，低歪み

様々なものづくりの生産性向上に貢献

### 4) 究極の低スパッタテクノロジー

- 溶接プロセス技術とロボット制御技術を融合した従来の常識を覆す新溶接プロセス
- 究極の低スパッタテクノロジー  
従来法とシンクロフィードとの比較
- 最大 100Hz でワイヤ送給と電流波形制御が高速に同期  
画像；従来法とシンクロフィードとの比較；溶接条件；300A 100cm/min 板厚 3.2mm
- 究極の低スパッタテクノロジー  
モデル図；従来法とシンクロフィードとの比較  
正逆送と電流波形制御の模式図  
逆送期間 . . . . . 正送期間  
高電流で深い溶け込み
- 他の追随を許さない技術力  
究極の低スパッタテクノロジー／シンクロフィード溶接システム

## 2. GD8／シンクロフィード GMA 溶接法の紹介（溶学誌，溶接技術誌掲載文献より引用）

\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

- \* 過渡応答性能に優れた AC サーボモータによる送給制御と電流波形制御が高い次元で協調できれば，従来では不可能であった GMA 溶接におけるグロービュール移行となる電流域で低スパッタ高速溶接が実現できる。
- \* 本稿では，筆者らがこれまで検討してきたワイヤ送給同期による溶滴制御を発展させた新溶接システムについて報告する

### 2. 新溶接システムの開発

#### 2.1 ワイヤ送給同期による溶滴移行制御の特徴と課題

- \* 2000 年以降になって同じ概念である C S C (Controlled Short Circuit) 法や CMT (Cold Metal Transfer) 法が実用化された。国内では，2010 年以降に Active TAWERS や EAGL (Enhanced Arc robot welding for low spatter) 工法が発表された。
- \* 本稿では，機械的短絡移行アーク溶接法<sup>\*1)</sup>と基本原理が同じ溶接法を総じて，ワイヤ送給同期による溶滴移行制御と記すこととする。（\*1）；詳しくは，[第 272 話](#)を参照願います。）

#### ワイヤ送給同期による溶滴移行制御 の特徴；

- ① ワイヤ送給方向がアーク期間中に正転し，短絡期間中に逆転することである。

短絡電流はほぼ 0 A としてワイヤ送給方向を逆転させることで，アーク再点弧時のスパッタ発生をほぼ

完全に抑制することができる。

- ② アーク再点弧によりワイヤ送給方向が正転になると、ワイヤ突き出し部分のみならず、コンタクトチップ内に引き込まれたワイヤが改めてアーク熱やジュール発熱で再加熱される。

よって、適切なワイヤワイヤ溶融速度の保証制御を行わない限り、この再加熱によりワイヤ溶融速度は一般的な GMA 溶接法より増加し、相対的に母材入熱が減少する。

\* また同時に、短絡電流が抑制されると短絡期間中の母材入熱も減少するため、これらの相乗効果により優れた低入熱性能を発揮していると考えられる。

\* よって、この原理に基づく溶接法は、溶け落ちが課題となる主に 1.0mm 未満の極薄板に効果を発揮する低入熱低スパッタ MAG 溶接法として普及してきた。

- ③ 課題：一方、グロービュール移行領域への適用を検討すると、短絡・アーク周期がばらつきやすく、高過渡応答のモータを用いても平均ワイヤ送給速度が一定にならない。よって、ワイヤ送給速度一定を前提とする定電圧制御では溶滴移行の安定化は困難を極める。更に、深い溶け込みが特徴である炭酸ガスシールド環境下でも、優れた低入熱性能がその効果を弱めることになり、十分な溶け込みを確保することが困難になる。

## 2.2 開発溶接システムの構成

- ① 高速ワイヤ送給時の短絡・アークの状態に応じて送給方向を切り替えることが可能な高過渡応答 AC サーボモータとそれを制御するサーボドライバと、
- ② 平均ワイヤ送給速度を一定にする制御と、低スパッタ性能と深い溶け込みを得ることができる電流波形制御法を開発した。

図中では、溶接電源のパワーケーブル等の接続を省略している。

トーチに内蔵するプルフィーダには、低イナーシャで高過渡応答の新開発 AC サーボモータを搭載し、小形軽量化により 4 kg 可搬のマニピュレータにも搭載可能である。

ワイヤの供給部にはプッシュフィーダを採用し、基本的に正転方向のみの送給制御を行っている。

グロービュール移行となる電流域では平均ワイヤ送給速度が増加するので、プッシュフィーダとプルフィーダの送給方向が異なることや送給系の外乱要因により、送給経路内でワイヤに大きな負荷がかかり易い。

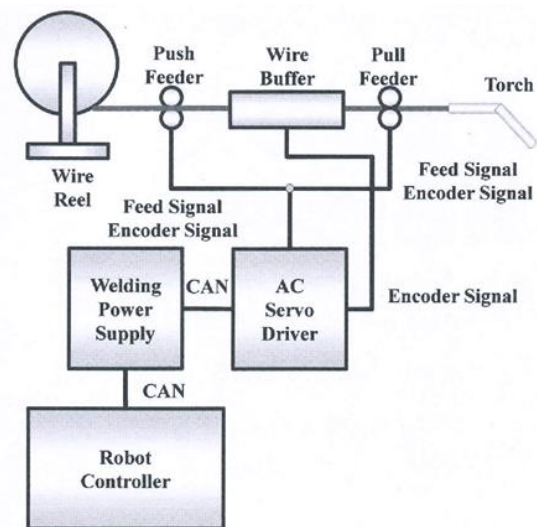


図 278-1 シンクロフィード GMA 溶接法のシステム概要

このような状況下においても的確な送給制御を行うため、プッシュフィーダとプルフィーダの間にワイヤバッファ機構を設けて干渉制御を行い、ワイヤ座屈等の送給系トラブルを抑制している。

以上のシステム構成により、平均ワイヤ送給速度 6 m/分越えとなる電流域でも安定した送給性能を実現し、50A から約 300A 程度までの広い電流域で、安定した溶滴移行を実現している。

## 2.3 Pulsed Dip Transfer Process

\* シールドガスとして CO<sub>2</sub>/MAG ガスを対象に、1.2mm 径の軟鋼ソリッドワイヤによる極低スパッタ溶接を実現する（Pulsed Dip Transfer Process、以下 PDT 法）の開発を行った。

PDT 法の原理は CO<sub>2</sub>/MAG 溶接に対して共通であり、代表例として CO<sub>2</sub> 溶接における電流波形、送給波

形、および特徴的な溶滴移行例を図 278-2 に示す。  
溶滴移行例は、電流 300A、電圧 23.0V、溶接速度 60cm/min の条件にて、ハイスピードカメラ（以下、HSV と記す）で観察した結果を示す。その概要は次のとおりである。

\* 短絡を検出するとワイヤ送給方向を逆転（Retract）し、ワイヤの反転状況に応じて最適な短絡解除電流を通电し、アーク再点弧を促す。フレーム(a)に、短絡期間中の状態を示す。アークが再点弧するとワイヤ送給方向は正転（Inching）になるが、アークが再点弧した直後は、ワイヤは送給速度が 0cm/分になるまで引き上がり続ける

この間、ワイヤ先端の溶滴が過大にならないよう低い電流を通电する。この様子をフレーム (b) に示す。スパッタの発生が認められないことがわかる。ワイヤ送給方向が正転に切り替わると、高いパルス電流の通电によるアーク力で溶融池を押し下げて深い溶込みを得ると同時に、パルス通电中は溶滴移行を安定化するため略定電圧制御を行う。この様子をフレーム(c) に示す。アーク期間の後半は低いベース電流に抑えて再短絡を促す。この様子をフレーム(d) に示す。

以上のように、PDT 法はパルス通电中に略定電圧制御を行うため、過渡的にワイヤ送給方向が切り替わるにも関わらず、その平均ワイヤ送給速度が一定であることが溶滴移行の安定化における必要条件となる。それ故に、後述するプルフィーダの速度制御を行う相乗効果で、溶滴移行の安定化を実現している。

一方、シールドガスに MAG ガスを用いて臨界電流を超えるパルス電流を通电すると、溶滴移行がスプレー移行化し、短絡移行とすることが難しい。図 278-3 に、MAG 溶接における特徴的な電流波形を示す。比較のため、炭酸ガスシールド時の電流波形を、図中の破線で示している。

\* 溶滴移行例は、シールドガスとして 80%Ar + 20%CO<sub>2</sub> の混合ガス、電流 250A、電圧 20.0V、溶接速度 60cm/分の条件にて、HSV で観察した結果を示す。図中の電流波形表示領域に示した一点鎖線は臨界電流を示し、MAG 溶接における PDT 法は、パルス電流の上限値が臨界電流を超えない範囲で制御することでスプレー移行化を抑制し、周期的な短絡移行を実現している。

\* 溶滴移行の状態を示すフレーム(a)、(b)ではほとんど違いが認められないが、フレーム(c)、(d)では溶滴移行が確実に短絡移行になっていることを示している。

次話では、引き続きD社文献の 2015 年 4 月号掲載の「ワイヤプシュプル送給と電流波形の同期制御による溶滴移行制御」（恵良 哲生氏執筆）より引用し、シンクロフィード溶接システムの技術確立時の考え方について理解を深めたいと考えます。

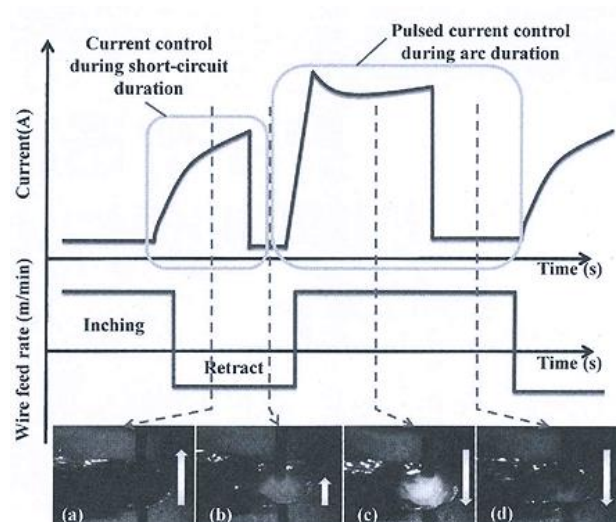


図 278-2 炭酸ガスアーク溶接における溶滴移行例

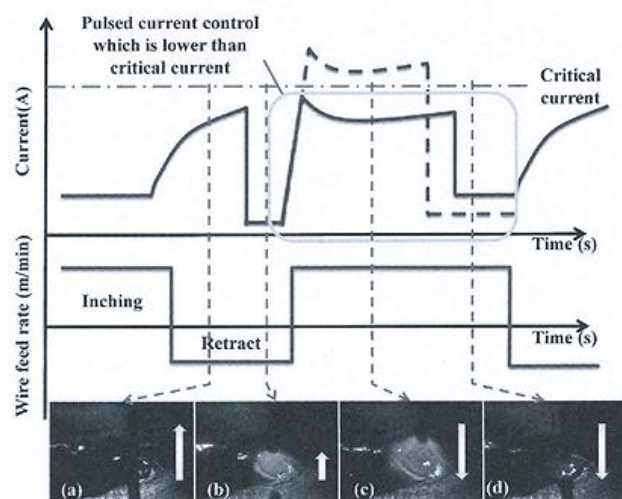


図 278-3 マグ溶接における溶滴移行例

以上。