

2016 年 9 月 5 日

前 59、60 話では CO₂・マグ短絡移行溶接における波形制御による歩みとその考え方について説明してきました。そこで今回はそれら波形制御を適用した場合の影響と効果についてみることにします。なお、溶接機メーカーによって例えば同じ「ハード」設定と言っても強弱がありますので波形制御性能を事前に把握するとをお勧めします。筆者が過去に経験した影響と効果についてその傾向を表 **061-01** に示します。

表061-01 波形制御設定の影響とその効果				
		波形制御設定レベルとその傾向		
項目	評価課題	ハード側	標準	ソフト側
1	アークスタート性への影響	瞬時スタート性良好	↔	瞬時スタート性に劣る
2	アークエンド処理への影響	良好なエンド処理	↔	大粒スパッター発生しやすい
3	溶接速度への影響	高速溶接	↔	低速溶接
4	スパッター発生量とスパッター粒の大きさ	小粒スパッター多い	↔	大粒スパッター少々発生
5	油煙、磁気などの外乱に対するアーク安定性	アーク安定度 大	↔	アーク安定度 小
6	耐ブローホール性 & 耐ピット性	冷却速度大によりブロー、ピット発生やや多い	↔	冷却速度低下によりブロー、ピット発生やや減少
7	耐スラグ剥離性	スラグ剥離しやすい	↔	スラグ付着しやすい
8	溶接歪への影響	歪軽減の傾向	↔	歪増加の傾向
9	溶接入熱量への影響 平均入熱量Qは $Q(J/cm) = 60 \times \text{電流}(A) \times \text{電圧}(V) \div \text{速度}(cm/min)$ による	平均溶接入熱量を軽減 $Q(J/cm)$ と併用で考慮のこと	↔	平均溶接入熱量を増加 $Q(J/cm)$ と併用で考慮のこと

これらは厳密な数値として把握できていませんが順を追ってコメントします。はじめに①**アークスタートへの影響**は**第 59 話**でも触れましたようにハード設定が必要です。②**アークエンド**の場合はエンド処理として主溶接電流、主電圧を下げますので溶滴移行力が低下します。よってそれらを補うためにアーク特性としてはハード側への設定が望ましい。③**溶接速度への波形制御対応**はこれも**第 59 話**です。

に触れましたように高速化につれてハード設定が要求されます。速度が速いため1粒、1粒の溶滴移行を迅速化させる必要に迫られるからです。④**スパッター制御**ではスパッター粒の大きさと数の両方を見る必要があります。粒を小さくするにはハードが有利で、発生数を少なくするにはソフト設定が必要となります。アーク電圧が低い、アーク長の短い条件ではソフト設定ではアーク不安定になりやすいなど状況に応じて、アークへのイメージを常に描きながらハード、ソフトを選定して下さい。⑤**油煙、磁気など外乱への対応**ではこれもハード設定が要求されます。強く記憶に残る経験としては、溶接前工程の加工油の影響を受けやすい溶接品で困っておられたお客様があり、強めのハード設定をお勧めしたら不適合品が激減しました。やはりアークは周囲の油、水分による冷やし、ガス化による膨張圧力などには弱いので、アーク力を増加させて多少のスパッター発生を覚悟して乗り切る必要があります。最もふらつきやすいアークは100%正極性のアークで、周囲の磁気、油煙にすら動かされることを前もって承知しておいて下さい。⑥**耐ピット、耐ブローホール性への効果**は何と言ってもソフト設定が有利となります。これらの理由としては、アーク入熱量を増加させるソフト設定が熔融金属の冷却速度を遅らせ、熔融金属内に生成した気体生成物の浮上を助けることができるからです。⑦**スラグ剥離への影響例**として、ハード設定ではSiO₂を含むガラス状のスラグ成分が溶接ビード表面から容易に剥離しやすいのに対し、ソフト設定にすると溶接入熱量が上昇するため密着しやすくなるという事例があります。スラグ付着量を抑制するなどへの効果はありませんがCO₂・マグ溶接で必ず生ずるスラグ(FeO-SiO₂-MnOなど)をビード表面に密着的に残存させ塗装性への課題を少しでも緩和させる必要性がある場合などは一度試して頂けたら幸いです。⑧**溶接歪への影響**は溶接入熱量Q(J/cm)の増減そのものです。ハード設定ではQは減少し、ソフト設定で増加します。歪対策には種々の方策がありますがCO₂・マグ溶接では短絡移行の低入熱対応が望まれます。⑨**溶接入熱量Q(J/cm)への影響**では、通常平均入熱量Q(J/cm)と同時にアーク特性制御の両方を常に考慮してください。アーク特性制御は図060-01①-②のハード、ソフト設定および③のアーク再生電流制御の有無にみられるように、溶接電流波形をコントロールできるので入熱量への影響は大変大きい。入熱量は前述の溶接歪をはじめ熱影響部の硬さおよび垂鉛メッキ鋼板溶接時のブローホール抑制などに影響が大きく、アーク特性制御への理解と実行が求められています。

なお、**お手持ちの保有設備におけるアーク特性制御の設定状況はいかがですか。** 自社溶接品の改善課題に合わせ、**表 061-02** に示すように、これらの設定への可能性を見出し適用して頂ければ幸いです。

表061-02 CO₂・マグ溶接機+アークロボットにおけるアーク特性制御 設定状況の診断

.....アーク特性制御の個別設定はどこまで可能ですか?

NO.	溶接設備 ロボット教示有り	「アーク特性制御方式」を、どの「溶接箇所」に、何個の「設定数」で、個別設定するか?		
	溶 接 電 源	アーク特性 制御方式	アーク特性 制御 適用箇所	最大設定水準数
1	サイリスター	直流リアクトル（固定タップ）	個別設定不可	単独（ o r 1 ）
2	↑	直流リアクトル（可変タップ）	個別設定 可	可変タップ数
3	インバーター	アーク特性ダイヤル設定	個別設定 可	ダイヤル設定数
4	フルデジタル	ロボット教示による設定	各ビード毎	ビード数
5	↑	↑	各ビード部位毎	ビード数×ビード部位
6	↑	ロボット教示による設定 & スパッター制御の有無	各ビード毎	ビード数
7	↑	↑	各ビード部位毎	ビード数×ビード部位
8	↑	アーク特性レベル スパッター制御の有無 CO ₂ ・マグ/パルスの切り替え	各ビード毎	ビード数
9	↑	↑	各ビード部位毎	ビード数×ビード部位

以上。

No. A061

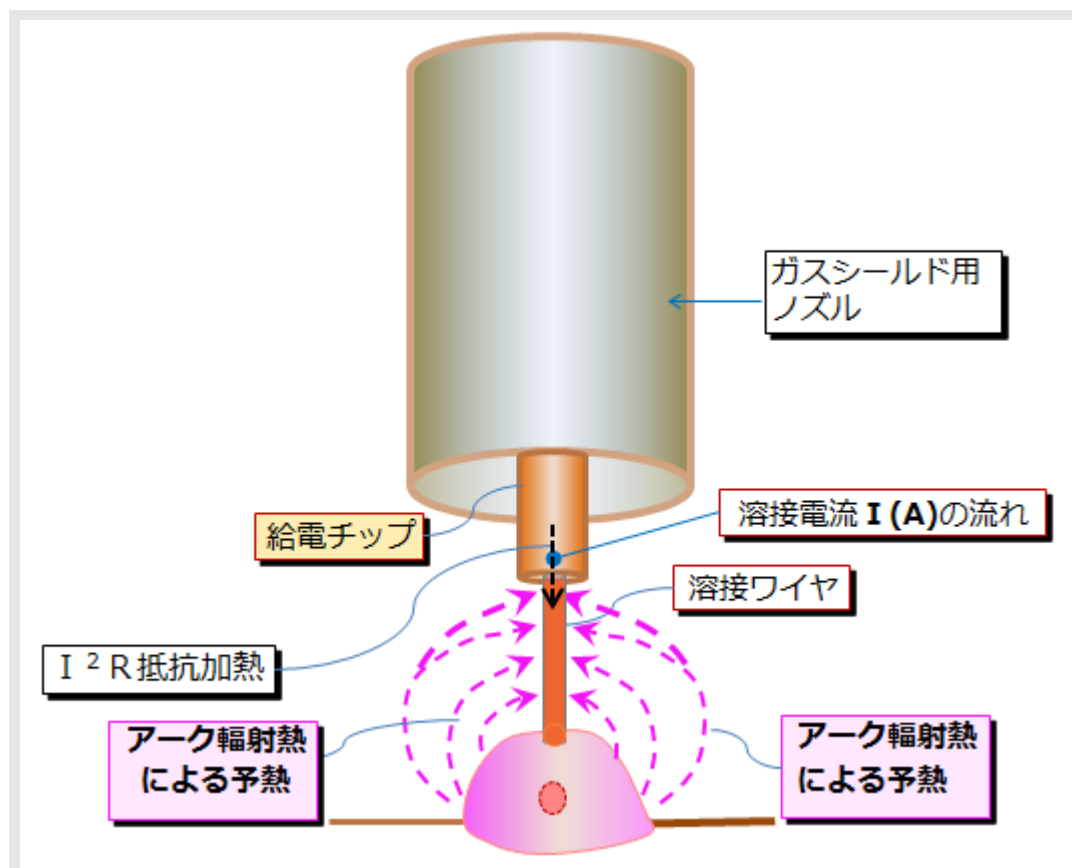
2016 年 9 月 12 日

パルス溶接の変遷と特長は、短絡移行マグ溶接に比べ ①スパッターレス ②高速溶接化 ③亜鉛メッキ鋼板の耐ブローホール性などに顕著な効果を発揮できる点について、既に第 17 話で触れました。さらにフルデジタル機の進展に伴いパルス制御の機能が充実するとともに設定が容易になってきたが、今一度パルスマグ溶接電流をはじめとした条件設定に関し理解を深め、それらの使い方に習熟することが求められています。そこで基礎的な考え方と実際例を挙げ、今後 5 話にわたって皆様の溶接工程における課題解決につながるものが示せれば幸いです。

パルス溶接の特長は種々ありますがそのひとつに「**高速溶接化**」が挙げられます。CO₂・マグ短絡移行溶接に比べ何が高速溶接化に寄与しているのでしょうか。主な要因は①**アークが消失しないこと**。②**単位時間当たりの溶着量 (g/min) が同一電流値において大きいこと**と考えます。

短絡移行溶接は短絡－アークの繰り返しで溶接時間中のほぼ 15%前後は短絡時間でアークが消えています。このような消失時間を含むアーク状態で高速化を目指してもアーク安定性に欠け、溶け込み品質も不安定になります。

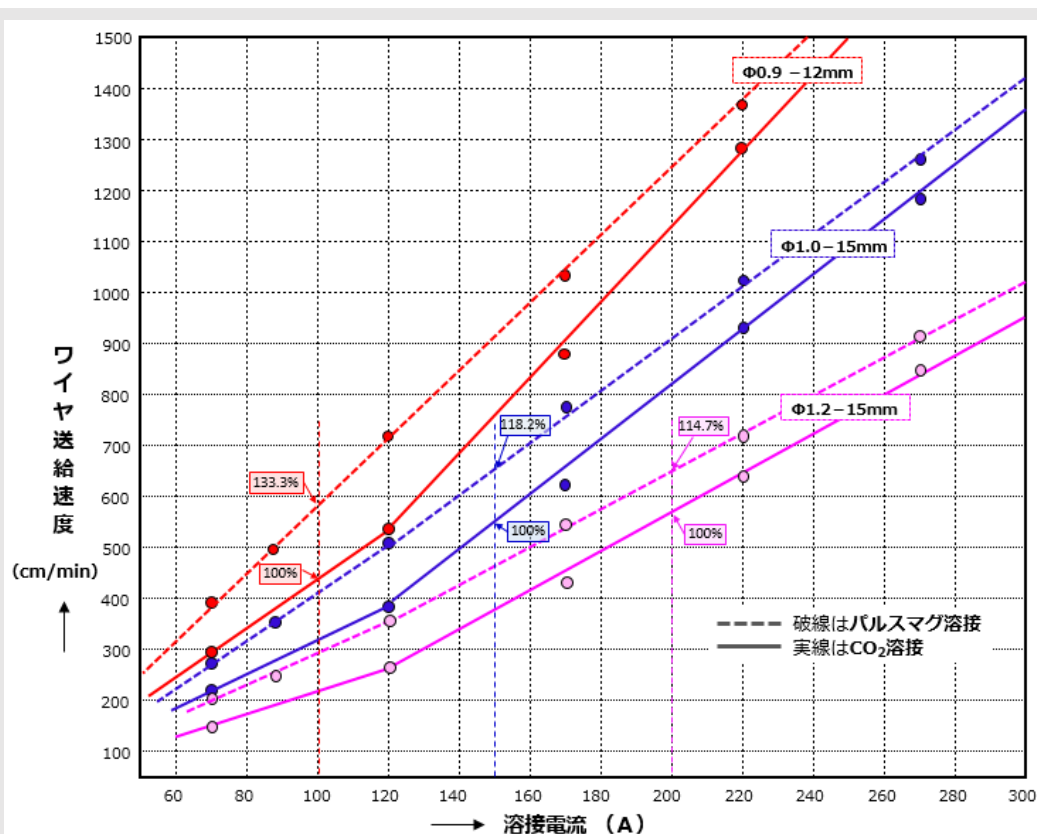
このため短絡移行溶接の溶接速度はせいぜい **70～80cm/min 程度**です。ところがピーク・ベースを繰り返すパルス溶接では電流の低いベース期間でもアークは持続的に発生しており 1 パルス・1 溶滴移行を基本としてトーチなどの耐熱性が整えば **150-180cm/min の高速溶接も可能**とされています。一方何故パルス溶接は高溶着量が得られるかについては、短絡移行溶接と違ってパルスの場合は常にアークが発生し、周囲ガスにアルゴンガスが多いためガスによる冷却作用が少ないので、**輻射熱のワイヤ突出し部に与える予熱効果が大きくなるため**だと考えられています。予熱効果により**比抵抗 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)**が増加し、ワイヤの**抵抗 R (Ω)**が増し、同一電流でも **I^2R** のエネルギーを大きくできる結果、ワイヤ溶融量を増大させることができます。図 062-01 にパルスマグ溶接におけるアーク輻射熱による送給ワイヤ突き出し部への予熱模式図を描いてみました。



▲ 図 062-01 パルスマグ溶接におけるアーク放射熱による送給ワイヤ突き出し部への予熱模式図

この図にみるようにアーク放射熱の大きいパルス溶接では溶滴になる以前に放射熱（含む I^2R 熱）を受熱するので、より少ない溶接エネルギーすなわち溶接電流×アーク電圧にて溶融、溶着することができます。身近な例としてはパルスマグの方がコンタクトチップをはじめトーチの温度上昇が大きくなります。また適用の仕方によって放射熱の影響は、平板の溶接より 90 度に囲われたすみ肉溶接の方が大きくなることは容易に経験する所です。

それではこれらのワイヤへの放射熱効果を有するパルスマグが CO₂ 短絡に比べどれだけ溶着量（g/min）の増加に寄与するかを見てみましょう。**第 55 話**の溶接電流とワイヤ送給速度の関係でみた **図 055-01** と **図 055-02** から CO₂ 短絡とパルスマグの溶着量比較を **図 062-02** に作成してみました。



▲ 図 062-02 CO₂溶接とパルス溶接における溶接電流とワイヤ送給速度の比較

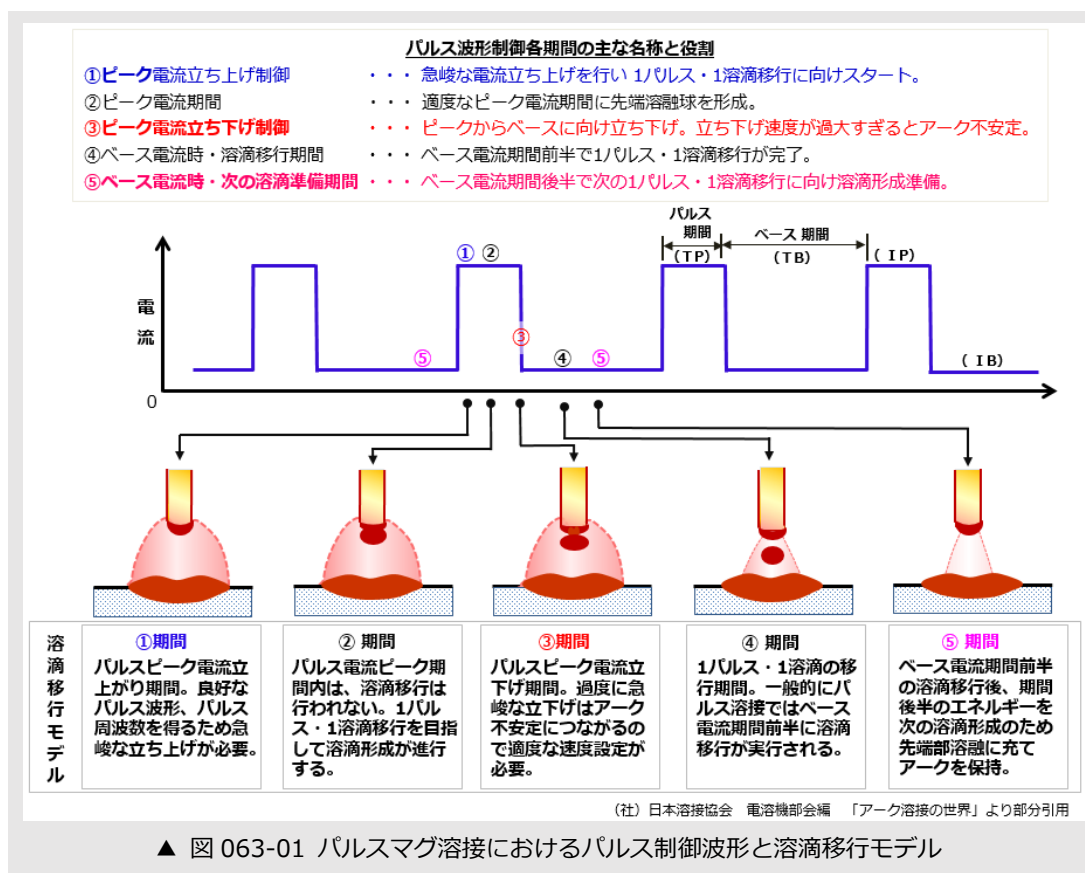
ワイヤΦ1.2×200Aの条件ではパルスマグの方が15%近く溶着量増加があり、同様にワイヤ径Φ1.0×150Aでは18%の増加であり、Φ0.9×100Aでは33%もの増加となっています。これらの溶着量増加効果にパルスマグ溶接の真髄のひとつがあるとご理解ください。次話ではパルスマグ溶接における溶滴移行とその制御について考え方をモデルに沿って説明します。

以上。

最近のフルデジタル制御溶接電源に接すると短絡移行溶接制御も、本話で主題とするパルス制御も細部にわたって設定、制御が可能でユーザの立場からは、自らの溶接環境を考慮して如何に適正にこれらの機能を引き出せるかが、腕の見せ所です。第 49 話でも触れましたが、お客様の一部では生産準備段階で溶接機の選定に躊躇され、短絡・パルスの溶接法決定を機器導入後に判断される場合があります。パルス溶接の場合は溶接電流波形の立ち上げ・立ち下げ速度の性能が良否に直結しますので短絡移行溶接までを考慮する両用機ではパルス仕様として劣ることになります。この点何度も言って恐縮ですがご留意下さい。

パルス制御溶接法とはマグ溶接において規則的なスプレーに移行するいわゆる臨界電流以上の電流をピーク電流とし、かつ平均電流を下げるため、他の期間をベース電流として低く設定し、溶滴移行の準備期間に充て 1 パルス 1 溶滴の考えで溶滴の移行を制御するものです。現在の(株)ダイヘン殿が大阪変圧器(株)時代の昭和 30 年代前半に開発し、特許を取得された方法です。当初はパルス周波数的にも 50/60、100/120 の周波数に限られてアルミ・ミグパルス溶接を手始めに、ミグブレージング法などに適用が限られていました。普通鋼板へのパルス溶接の適用は第 17 話のようにパルス周波数の任意設定を可能としたトランジスター・チョッパ式を経てインバータ式電源の時代になって本格的な普及期を迎え、現在に至っています。

図 063-01 にパルスマグ溶接におけるパルス制御波形と溶滴移行モデルを示します。



移行制御の基本は「1 パルス・1 溶滴」であり、電流波形を急峻に立ち上げ、急速に移行用溶滴を形成させ、母材熔融池へはそろりと、穏やかに、軟着陸のようにベース電流の低電流期間に移行させようとするものです。大雑把ですが溶接電流と周波数（Hz）の関係は 200A であれば 200Hz 程度が適正な目安となります。それでは具体的に図 063-01 に戻って説明します。パルス電流立ち上げ期間①では前期間⑤のベース電流後半において形成された溶滴をベースに、立ち上げ電流のエネルギーを急速に与え溶滴を形成、それがパルスピーク期間②に受け継がれ移行に適した溶滴を形成することになります。よって**ピーク電流時間 TP** (msec)はパルス条件設定の重要な一つとなります。ここで**パルスピーク電流 IP** (A) について触れます。

IP (A)もパルス条件の重要因子のひとつで、適用するワイヤ銘柄、ワイヤ径、ガスとその種類、溶接電流、母材のメッキの有無などによって異なり、適切な値の **IP** (A)を選定することが必要です。次に**パルスピーク電流立ち下げ期間③**を迎えます。立ち上げ時と違って立ち下げ時は電流ゼロに向かって下がるので急峻に下げれば良いと言うものではありません。急峻過ぎるとアーク切れを生じ、ワイヤが半熔融状態で母材に堆積するようになります。いわゆる**スタッピング現象**を呈します。

逆に下げが緩過ぎるとキレのないアーク、いわゆる締まりのないボーツとしたすっきりしない、ひ弱な溶滴移行となります。よって立ち下げ速度の設定は大切です。これらの③期間が過ぎて**ベース電流期間④**になり、溶滴移行します。ベース電流期間に溶滴移行するという事実は大変有難いことです。ピーク電流期間の溶滴移行はスパッター発生につながりやすいからです。適正な **IP×TP** 条件であれば低い電流値の **TB 期間前半**に溶滴移行が完了するのです。この移行期間の、ピークからベース期間へのズレは恰も夏至・冬至よりも後に暑さ・寒さのピークが訪れることに似ていると言えます。溶滴移行後のベース電流期間は次の溶滴形成のための助走期間です。参考までに、パルス溶接の 1 パルス・1 溶滴移行を適正に行わせるための**条件因子**を記します。

【主要なパルス設定条件因子例】

①平均溶接電流 ②平均アーク電圧 ③ワイヤ送給速度 ④ピーク電流 **IP** ⑤ピーク電流立ち上げ時間 ⑥ピーク電流時間 **TP** ⑦ピーク電流立ち下げ時間 ⑧ベース電流 **IB** ⑨ベース時間 **TB** ⑩パルス周波数（Hz）

次話ではこれらの**パルス条件設定への考え方**を説明の予定です。

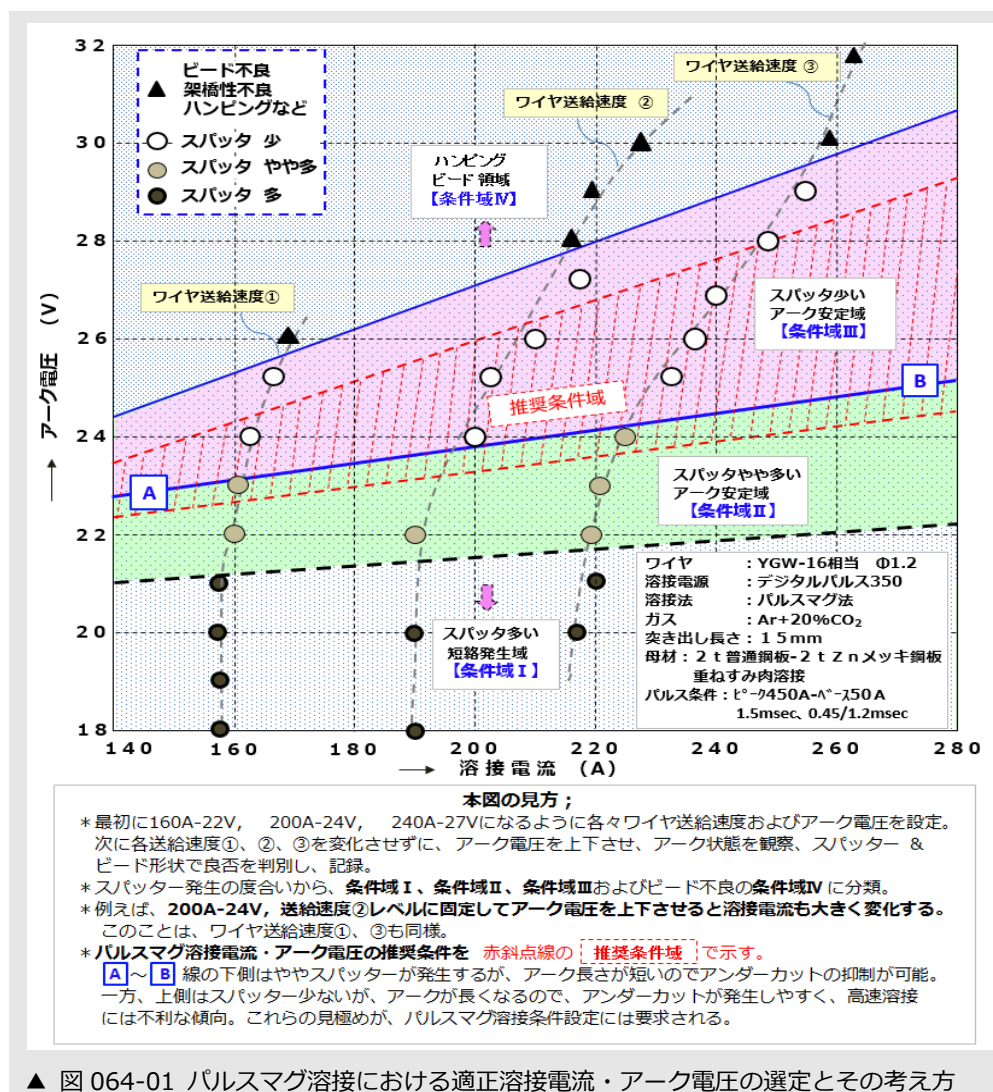
以上。

No. A063

2016 年 10 月 3 日

本稿ではパルス溶接条件設定への考え方を説明します。パルス溶接の条件選定は少々注意しなければならない点が CO₂ 溶接より多くあります。また、最近のパルスマグ溶接機の設定には長足の進歩が見られ、初心者には優しく適正設定に導いてくれますが、やはりユーザの立場からしっかりした理解と自社溶接品に最適な条件設定を目指していかなければなりません。パルス溶接の適用は、溶滴移行を制御しスパッターを抑制、併せて高速・高溶着溶接を狙うためですが何事も 100%の満足を得ることは難しく、どの要求性能に重点を置くかを明らかにしながら対処する必要があります。

第 57 話にみる CO₂ 溶接条件では短絡移行、グロービュール移行とも ①ワイヤ送給速度と溶接電流は比例する ②アーク電圧とアーク長さは比例し、アーク安定範囲の下側ではアーク不安定に、上側ではアンダーカットなどのビード不良を生じやすい ③中電流領域の 230~250A 以上でアーク電圧が低めの条件では特異な埋もれアーク現象を呈することなどを図 057-01、057-02 に示しました。同じ溶接アークですから溶接条件への考え方の背景は変わりませんがパルスでは留意点が細かくなります。そこでこれらの CO₂ 溶接条件と比較しながらパルス条件設定への考え方を理解して頂こうと思います。図 064-01 にパルスマグ溶接におけるΦ1.2 ワイヤ適用時の溶接電流に対する適正アーク電圧の関係を示します。



パルスマグ溶接条件の特長のひとつは適正なビード性状を得てかつスパッター発生を抑制できるかと言う点にあり、一定ワイヤ送給速度 (cm/min) に対してアーク電圧を低側から順に高側に変化させた場合、条件域は、CO₂ 溶接ではここまで細分化しませんがパルス溶接ではⅠ～Ⅳの4条件域に分類できます。

【条件域Ⅰ】 ; スパッター発生が多い、短絡が多く発生する領域。

【条件域Ⅱ】 ; スパッターはやや多いがアーク安定域。

【条件域Ⅲ】 ; スパッターは抑制され少なく、アーク安定域。

【条件域Ⅳ】 ; アークは安定であるがアーク長が過大でハンピングビードを生じやすい領域に各々分類できる。

ここでⅡ～Ⅲの境界 (図中 A-B 線) 付近から 0.5V 程度低く、かつ 3V 程度アップの赤斜線で示す「推奨条件域」を「良好」とします。0.5V 程度低い条件域では、アーク長を短めにしているので少々スパッター発生を伴う場合がありますが逆にビード両端に生成しやすいアンダーカットを防止できる大きなメリットがあります。また、アンダーカットがワイヤ銘柄の変更などで抑制できる場合は電圧をアップサイドに設定しスパッターレスを目指します。一方、図中 A-B 線付近から 0.5V 程度低い条件域ではアーク状態がパルス特有の「プーン」というアーク音の中に「ピリ、ピリ」と時々短絡音が入り「良好条件」であることを確認できます。

次に図 064-01 をよくみて頂きますと「同一ワイヤ送給速度」に対して必ずしも溶接電流値が一定になっていません。パルスマグ溶接ではこの傾向が CO₂ 溶接と比較して大きいのです。これらの理由はパルスマグでアーク電圧が低く、アーク長が短い場合はチップから突き出すワイヤ長さが長く、それらがアーク輻射熱で予熱され抵抗が大きくなり電流を低めに抑えますが、アーク電圧が高く、アーク長さが長いとチップからの突出しワイヤ部分が短くなり輻射熱効果が少なく、また抵抗が低めになるので、全体として溶接電流の増加につながると考えます。図 064-01 から例えば 190A-22V が 210A-26V さらには 215A-28V と電圧上昇に伴って溶接電流が増加します。この意味からもパルスマグ溶接では管理値として「溶接電流」だけではなく、「ワイヤ送給速度」あるいは「電流と電圧のセット」で管理されることが求められます。

次話ではパルスマグ溶接の波形設定についての考え方を説明します。

以上。

No. A064

2016 年 10 月 17 日

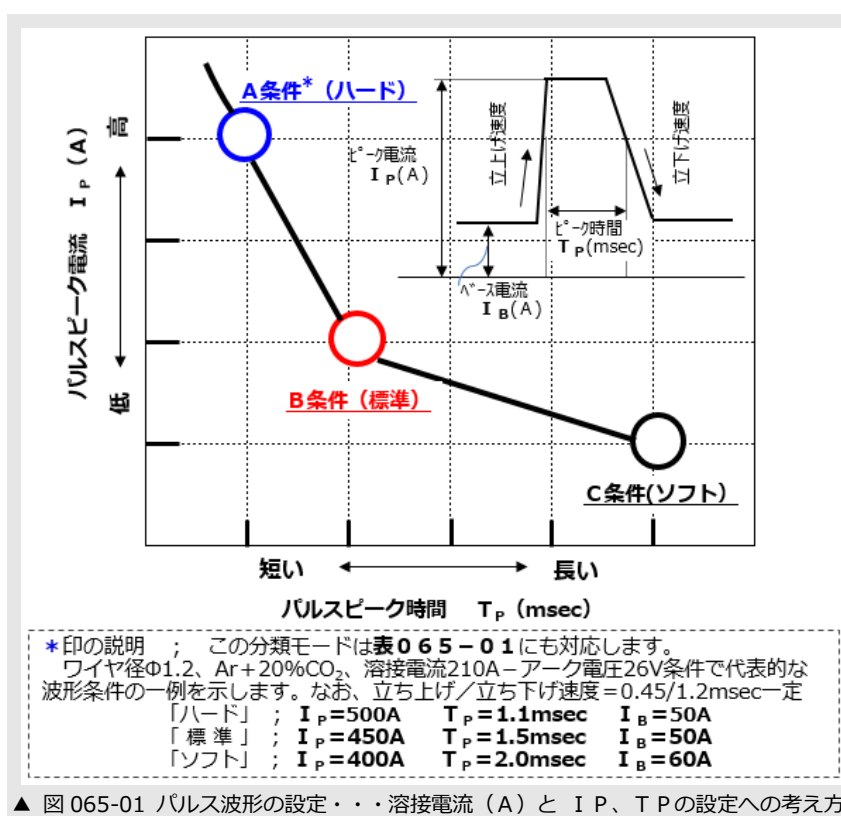
本話ではパルス溶接におけるダイナミックな瞬時波形における各波形条件設定上の考え方を説明します。既に何度も述べていますがパルスマグ溶接は平均電流（電圧）をワイヤに流す（印加する）のではなく脈動する電流（電圧）を作用させるため、設定によって目的とする溶滴移行性能が大きく異なります。また、適用するワイヤ材質（銘柄）、ワイヤ径、シールドガスの種類および電流域によっても適正条件が変化します。そのため最適設定を得ようと思えば、パルス条件設定の手順と条件因子の与える影響を予め理解することが求められます。

CO₂ 溶接の波形制御では図 059-01 にみたようにアーク特性を「ハード」「標準」「ソフト」に連続可変しそれらに応じ表 061-01 のような影響とその効果を得ることができました。

パルスマグ溶接も考え方はほぼ同様で、強い、ふらつきにくいアーク（ハード）、弱い、柔らかなアーク（ソフト）および中間（標準）に分類できます。ここで、パルス波形条件決定の一例を示します。

はじめに適用する平均溶接電流（ワイヤ送給速度）を決め、次に対象ビードの要求特性を考慮しながらパルスピーク電流 I_P および関連の深いパルスピーク時間 T_P を設定します。これらの I_P と T_P には図 065-01 にみるように明確な関係があり I_P 値が高いと T_P 値が低く、逆に I_P 値が低いと T_P 値が高くなります。そのわけは1パルス1溶滴移行を原則としているのでピーク電流 I_P (A)とピーク時間 T_P (msec) の積をほぼ一定とする考え方に沿っています。ワイヤ材質、シールドガスの種類により溶滴の粘性が変化し $I_P \times T_P$ の適正值を変化させる必要が生ずるためと考えています。

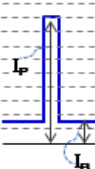
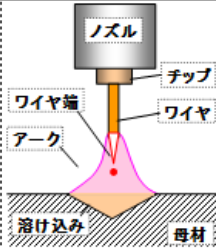
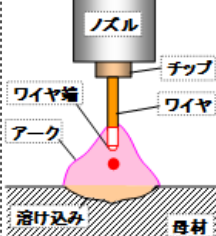
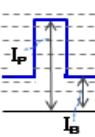
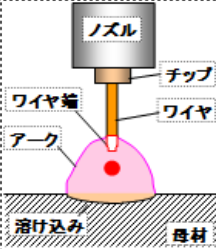
パルス形状（ I_P - T_P の関係）に限定して「ハード」・「標準」・「ソフト」と称する場合もあります。



▲ 図 065-01 パルス波形の設定・・・溶接電流 (A) と I_P 、 T_P の設定への考え方

次にピーク電流 I_P とベース電流 I_B の設定に移ります。 I_B （ベース電流）値は通常 50~60A 程度に設定されることが多く、低電流パルス条件では 30A 程度に設定がなされ、臨界電流を越える高電流パルス条件では 100~120A 程度に設定されることもあります。

表 065-01 に 3 形態のパルスモードをモデル的に示します。

表065-01 パルス波形の設定・・・溶接電流（A）と I_P 、 I_B の設定への考え方				
分類*	I_P/I_B 値	溶滴移行模式図	溶滴移行の特長	溶け込みの特長
A条件 ハード	大 		* アークの硬直性 大 * アークふらつき 少ない * アーク圧力 大 * 溶滴粒 小径 * スパッター 小粒 * 高速側に適合	* 溶け込みはフィンガー形状になりやすい * 溶け込み深さは深い傾向 * アンダーカット発生傾向
B条件 標準	中 		* アークの硬直性 中 * アークふらつき 中 * アーク圧力 中 * 溶滴粒、スパッター ともAとC条件の間 * 中速度に適合	* 溶け込み深さはA、C条件の間 * アンダーカット発生傾向
C条件 ソフト	小 		* アークの硬直性 小 * アークふらつき 発生しやすい * アーク圧力 小 * 溶滴粒 大粒の傾向 * スパッター 大粒の傾向 * 低速に適合	* 溶け込みはフィンガー形状になりにくい * 溶け込み深さは浅い傾向 * アンダーカット少ない

*印の説明；この分類は図065-01にも対応します。
「ハード」のパルス波形は、 I_P/I_B の値が大きく、& 高 I_P 、狭幅 T_P
「ソフト」のパルス波形は、 I_P/I_B の値が小さく、& 低 I_P 、広幅 T_P
「標準」のパルス波形は、「ハード」と「ソフト」の間。

I_P/I_B 値の溶滴移行に及ぼす影響は大きく、その値が大きく、かつ高 I_P 、狭幅 T_P の波形が「ハード」、逆に I_P/I_B 値が小さく、かつ低 I_P 、広幅 T_P の波形が「ソフト」、これらの中間を「標準」と示します。

「ハード」設定では、アーク周辺に油脂分が多く、それらによるガス圧力でアークがふらつきやすい場合などに適用しアーク指向性および硬直性を高めます。また高速溶接で速い溶滴移行速度が求められる場合も「ハード」設定が必要です。一方、「ソフト」設定では、アンダーカットの生じにくいアーク圧力の低い、穏やかなアーク状態が必要な場合や垂鉛メッキ鋼板の溶接で耐ブローホール性を高める場合に適用されます。

なお、ピーク電流 I_P の立上り速度(msec)の設定は 0.2~0.8msec などの急峻性が要求され、一方ピーク電流 I_P の立下り速度(msec)はあまり急峻であるとゼロ点に向かって進むのでアーク消失に至る恐れがありそれを避けるためにやや緩和的に速度を遅め 0.6~2.0msec 程度にすることが望まれます。パ

ルスの立ち上げ、立下げ速度は**パルス周波数（Hz）** への影響が大きく、1 パルス・1 溶滴を実行するためにも富士山型のゆるい立ち上げ、立ち下げは望ましくありません。**3 形態のパルスモードが夫々溶滴移行、溶け込み形状などにどのように影響を及ぼすか筆者の経験をもとに表 065-01 に記しました。**参考にして頂きたい。

なお最近ではパルス波形のチェックを伴った溶接技術管理が求められる時代であり、多数台パルスマグ溶接機を適用する御客様にあってはハイコーダなどの計測器で対応されることが望ましく、それらを日常管理に適用して品質維持に努めて頂ければ幸いです。

次話ではパルスマグ溶接条件選定の実例例などを紹介します。

以上。

No. A065