

(技術資料)

自動車向け銅めっきなし高品質パルスマグ溶接用ソリッドワイヤ「SEA-1TS」

High Quality Non-copper-coated Solid SEA-1TS Wire Suitable for Pulsed MAG Welding Related to Automobile Production



鈴木 勲一*
Reiichi Suzuki



中野 利彦*
Toshihiko Nakano



黒川 剛志*
Tsuyoshi Kurokawa

Pulsed MAG welding is excellent in terms of: (1) arc stability; (2) spatter generation; (3) welding speed; and (4) porosity for galvanized steel plates welding. Consequently, this method is used extensively for welding thin plates used in automobile manufacture. SEA-1TS improves on these qualities in comparison with conventional wire used for pulsed MAG welding. SEA-1TS wire incorporates the high quality advantages of non-copper coated solid wire which was developed by Kobe Steel. Based on these advantages it was possible to achieve optimal surface tension and the optimum droplet viscosity required for pulse droplet transfers. Consequently, good droplet transferability synchronized with high frequency pulses were realized.

まえがき = 薄鋼板の代表的ユーザである自動車産業では、グローバル競争を勝抜くべく、様々な技術開発が進められている。燃料電池車などの次世代駆動システムの技術競争が脚光を浴びているものの、普及車における基本的な必要技術は高品質と低製造コストの両立である。品質面では、地球環境への影響を考慮し、燃費の向上や耐久年数向上などが大きなテーマとなっており、使用される素材にも影響を与えている。これまで主流の軟鋼板に代わり、高張力鋼板（ハイテン）やアルミ合金といった素材を適用することにより軽量化を図る、あるいは亜鉛めっき鋼板や耐食性鋼板のような防錆鋼板の適用拡大を図るといった動きが盛んである。

一方、製造コスト低減面では、アーク溶接技術に関しては、高速化による能率向上、ワイヤ送給性に起因する溶接不良の低減、ピットなどの気孔欠陥やスパッタ付着量の低減による手直し作業の最少化などが要求されている。これらの数々の変化や要求のうち、亜鉛めっき鋼板での低スパッタ化やピット数低減、あるいは高速溶接化

には、従来の定電流・定電圧制御の直流溶接電源に代わり、パルスマグ溶接電源が効果的であり、適用が拡大している。こうした状況に対応し、当社が開発した高性能銅めっき無しソリッドワイヤ「SEワイヤ」の製造技術を適用して、これまで以上に薄板のパルスマグ溶接に適応した薄鋼板用高性能ソリッドワイヤ「SEA-1TS」を開発した。以下に、基本的なパルスマグ溶接法の特徴を踏まえ、本ワイヤの特性について紹介する¹⁾。

1. パルスマグ溶接法について

基本的知見としてパルスマグ溶接法の仕組みについて説明する。パルスマグ溶接法は消耗電極式ガスシールドアーク溶接法の1種であり、特殊な電流・電圧波形を付加することによって優れたアーク特性を得るものである。図1に示す如く、安定状態においては通常のマグ溶接では電流、電圧が時間に対して変動せず一定である。これに対しパルスマグ溶接法では、基本的にはピーク期間と呼ばれる高電流・高電圧状態と、ベース期間と呼ば

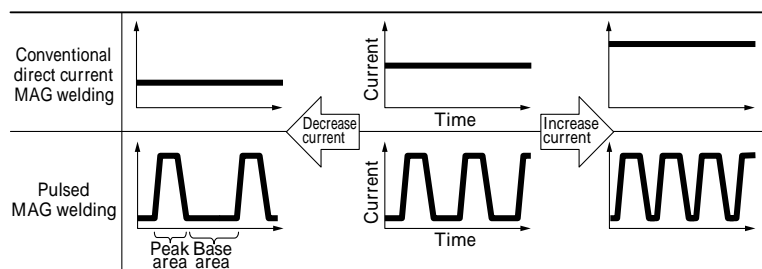


図1 通常の直流マグ溶接とパルスマグ溶接の波形制御の違い

Fig. 1 Comparison of current wave control between conventional DC MAG welding and pulsed MAG welding

*溶接カンパニー 技術開発部

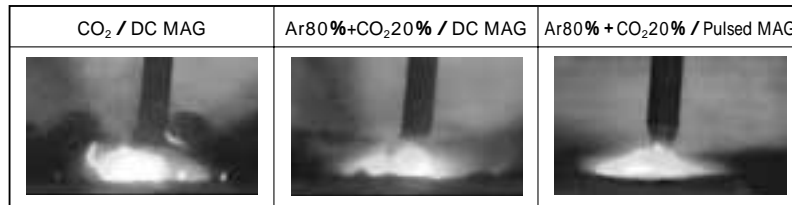


写真1 典型的なマグ溶接法とアークの状態 (電流220A, ワイヤ径1.2mm)

Photo 1 Typical arc conditions and shapes with the kind of MAG welding method (Current : 220A, Wire dia. : 1.2mm)

れる低電流・低電圧状態を周期的に繰返す電流・電圧波形となる。ワイヤ送給量を変動させると、通常の直流マグ溶接ではそのまま電流が変動するのに対し、パルスマグ溶接法では一般的にベース期間が変動し(ピーク電流, ピーク電圧, ピーク期間およびベース電流は全て固定), 周波数が変化することによって平均電流が変動する^{2),3)}。

直流マグ溶接では, 1.2mmのワイヤ径において約280A以上でなければスプレ移行と呼ばれる極めて低スパッタで安定なアーク状態とならないのに対し, パルスマグ溶接法では100A近くでもスプレ移行を実現し, 著しい低スパッタ化が可能となる。これがパルスマグ溶接法の最大の長所である。写真1に波形およびシールドガスの組合わせとアークの発生形態の典型を示す。なお, パルスマグ溶接法では通常100%CO₂のシールドガスは使用不可能であり, Ar80%以上のAr+CO₂混合ガスが適用される。

平均電流が低くとも, ピーク期間の高い電流(400~550A)によって溶滴移行がスプレ状態となり, ベース期間(50~90A)に溶滴が溶融池に落下することを規則的に繰返すため, 低電流でも低スパッタ化が可能となる。1パルスあたりに1個の溶滴移行が行われる規則性がパルスマグ溶接では非常に重要であり, ワイヤの溶け易さによって最適なピーク期間や電流が変わる。また, ワイヤの通電安定性が劣ると規則性が損なわれ, 逆にアークの不安定化, 大粒スパッタの発生などの問題が生じる。このように, パルスマグ溶接法は優れた特徴を有する反面, 溶接ワイヤや条件設定面では通常の直流マグ溶接法より厳しい管理が必要とされる⁴⁾。

2. SEA-1TS の特徴

SEA-1TS は薄鋼板のパルスマグ溶接法を対象とし, 以下の優れた特徴を有するソリッドワイヤである。

- (1) 溶滴離脱性とアーク安定性
 - (2) 高速溶接性
 - (3) 亜鉛めっき鋼板の溶接性
 - (4) ワイヤ送給性と通電安定性
- 以下にそれぞれについて説明する。

2.1 溶滴離脱性とアーク安定性

上述したように, パルスマグ溶接法では理想的状態においては安定したスプレ溶滴移行が得られる。しかし, 実用的には高能率を求めて高速溶接が行われ, アンダカットなどの欠陥を防ぐために, 電圧を相対的に低く, つまりアーク長を短くせざるを得ず, 理想的状態から外れてしまって, 安定なスプレアークを形成できないことも多い。したがって, 図2に示すように, 短いアーク長に設定しても短絡しないように, 溶滴がふらつかず, 小粒の溶滴でスムーズに離脱することが高速性と低スパッタ性を兼ね備えたパルスマグ用溶接ワイヤの必要条件となる。結果として, 優れたパルス用ワイヤを適用すると, 最適ピーク期間は短くなり, より高周波のパルスとすることが可能となる。

溶滴の離脱性を向上するには, ワイヤ添加主要成分であるSiやMnといった脱酸成分を抑制し, 溶滴の酸素量を高めて表面張力を下げる手段がこれまでの主流であった。しかし, この手段では後述する高速溶接時の溶融池の流動性に起因した耐ハンピング性や亜鉛めっき鋼板でのピット抑制に必要な溶融池の粘性を損なうことになり, これらを兼ね備えた溶接ワイヤの実現は困難であった。

SEA-1TSではSEワイヤの特徴である銅めっきを廃し, 特殊表面処理を施すことによって溶滴表面近傍の酸素量を高め, 溶融池の粘性が高いにもかかわらず従来のパルスマグ用ワイヤを凌ぐ優れた溶滴離脱性を有することが可能となっている。写真2に, 高速度ビデオによって撮

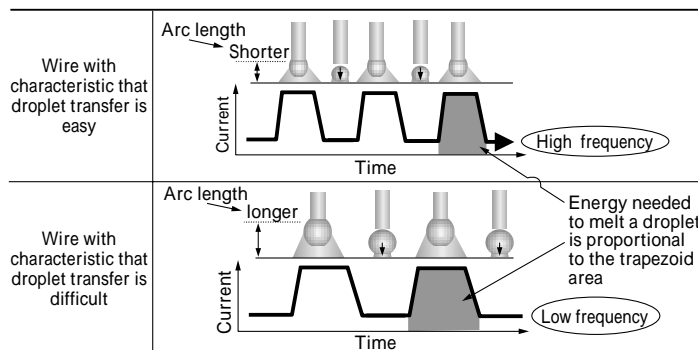


図2 溶滴の離脱性と必要アーク長, およびパルス波形の関係
Fig. 2 Relationship of droplet transfer characteristic, arc length and pulse wave form

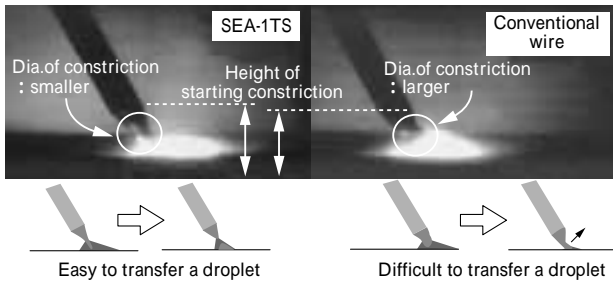


写真2 高速度ビデオ撮影によるSEA-1TSと従来ワイヤの溶滴離脱性の比較

Photo 2 Comparison between SEA-1TS and conventional wire on droplet transfer which were recorded on high speed videotapes

影したパルスマグ溶接における溶滴移行の瞬間を従来ワイヤと比較して示す。SEA-1TSはワイヤ先端が早期にくびれ始め、アーク発生位置の直径が小さくなっていることが確認される。従来ワイヤでは径が太く、離脱性が劣るので短絡しやすく、溶滴が吹飛ばされて大粒のスパッタとなりやすい。SEA-1TSでは優れた離脱性によって高

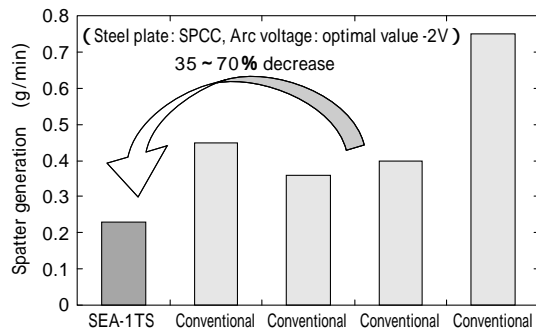


図3 スパッタ発生量の比較

Fig. 3 Comparison of the amount of spatter generating

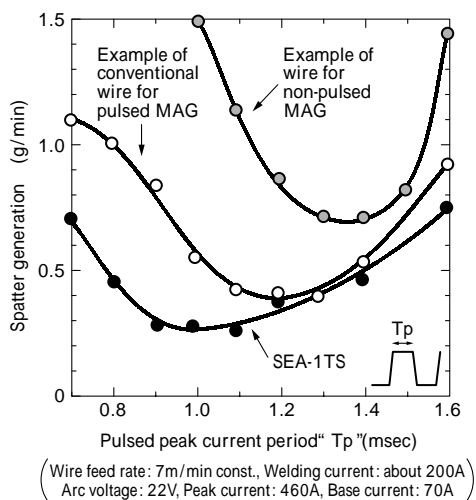


図4 最適パルス条件(ピーク期間)とスパッタ発生量

Fig. 4 Suitable pulse parameter (Tp) and spatter generation

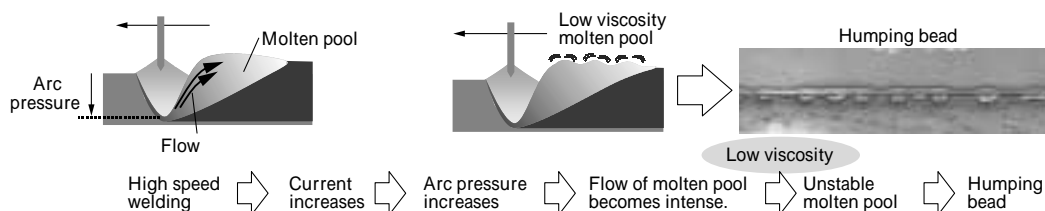


図5 ハンピングビード発生の仕組み

Fig. 5 Scheme of humping bead generation

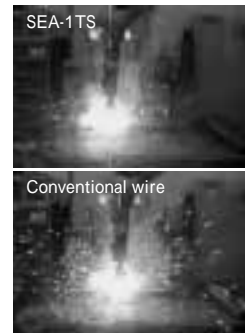


写真3 亜鉛めっき鋼板の溶接におけるスパッタ発生状況

Photo 3 Comparison of spatter generation when galvanized steel is welded

いパルス周波数に追従することができ、極めて少ないスパッタ発生量を実現した。スパッタ発生量を従来ワイヤと比較した結果を図3に、最適パルス条件を図4に、亜鉛めっき鋼板におけるスパッタ発生状況を写真3に示す。

2.2 高速溶接性

図5に示すように、溶融池はアーク力によって掘下げられ、押出されるように流動している。高速溶接では必然的に電流が高くなりアーク力が増加するとともに、アークが溶融池に対して先行しやすくなるため掘下げが深くなり、湯流れが激しくなる。このとき、アーク直下の溶融池の粘性が低いと溶融池後方に向かって湯の流れが早くなり、その結果凝集して玉状となる。これがいわゆるハンピングと呼ばれる不整ビードである。従来のパルスマグ用ワイヤは溶滴離脱性を優先するために、成分的に粘性を下げすぎているワイヤが多く、高速溶接性が劣る傾向があった。これに対し、SEA-1TSではアーク長を短く維持することができることに加え、比較的合金元素を多く含み、高粘性の溶融池を呈することができるため、優れた高速溶接性を兼備している。図6に最高溶

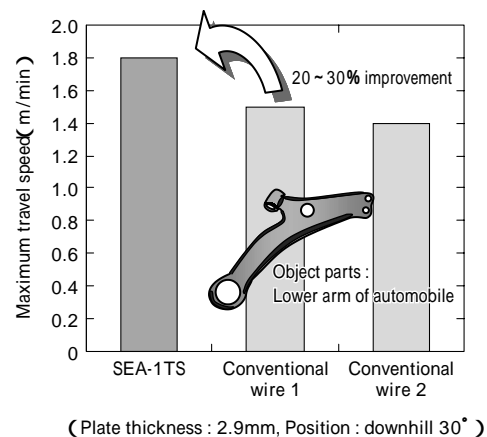


図6 高速溶接性の比較

Fig. 6 Comparison of high speed weldability

接速度を従来ワイヤと比較した結果を示す。

2.3 亜鉛めっき鋼板の溶接性

亜鉛めっき鋼板では溶接の際に溶接熱によって生じる亜鉛蒸気によってブローホールやピットといった気孔欠陥が多量に発生し、かつ亜鉛蒸気がアークを乱すためにスパッタ量が著しく増加する傾向がある。これらを抑制するためには、強く安定なアーク力と溶融池の粘性を適度に高めてのど厚を確保することが必要とされる。亜鉛めっき鋼板の溶接にパルスマグ溶接法が適しているとされるのは、この理由からである。一方、溶接ワイヤとしてはパルスアークの規則性を損なわないことと、成分的に溶融池粘性を最適にすることが求められる。高速溶接性の節で述べたとおり、SEA-1TSは優れたアーク安定性と適度に高い溶融池粘性を両立しており、亜鉛めっき鋼板に対しても良好な耐気孔欠陥性と低スパッタ性を得ることができている。図7に亜鉛めっき鋼板を溶接した際のピット発生数の一例を示す。

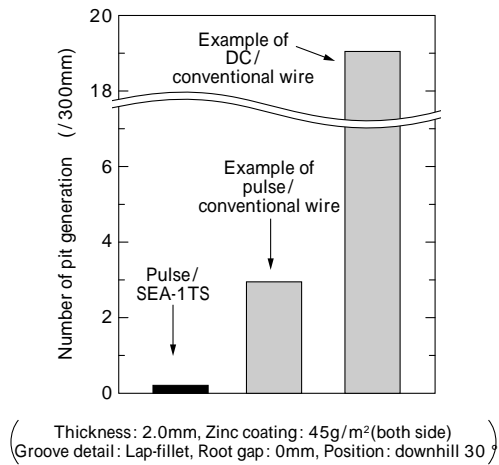


図7 亜鉛めっき鋼板でのピット発生数

Fig. 7 Comparison of pit generation when galvanized steel is welded

2.4 ワイヤ送給性と通電安定性

既述のとおり、パルスマグ溶接法は規則性が重要であり、通常のパルスマグ溶接法以上にワイヤの送給性や通電安定性に高いレベルが要求される。SEA-1TSは、これらを従来の銅めっきワイヤに対して格段に向上した「SEワイヤ」の技術を用いており、同様に非常に優れたワイヤ送給性と通電安定性を得ることができ、パルスアークの安定化に寄与している。さらに銅めっきがないことから、送給ローラとの摩擦によって生じる銅めっき屑も生じず、これによって生じるチップ融着などのトラブルも生じにくいなど、不良防止やメンテナンスの緩和などが図れる^{5)~8)}。

2.5 その他特性

図8にソリッドワイヤを用いた各溶接法とヒューム発生量の関係を示す。ヒューム発生量はアークの安定性と密接な関係があり、パルスマグ溶接法は適正な条件では格段に少ない発生量とすることができる。さらにワイヤをSEA-1TSとすることにより、さらなる低ヒューム化が図れ、作業環境の改善に貢献する。

図9に重ねずみ肉溶接における狙い位置およびルートギャップとビード形状の関係を示す。SEA-1TSは広い範

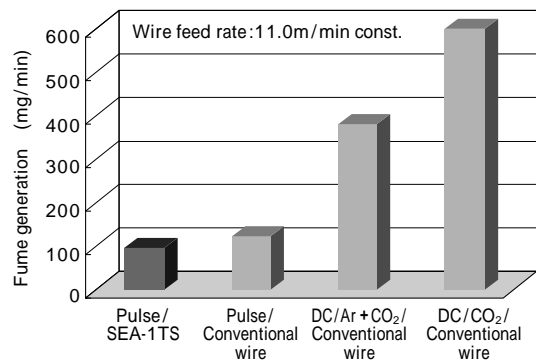


図8 溶接法とヒューム発生量の関係

Fig. 8 Relationship of fume generation with welding method

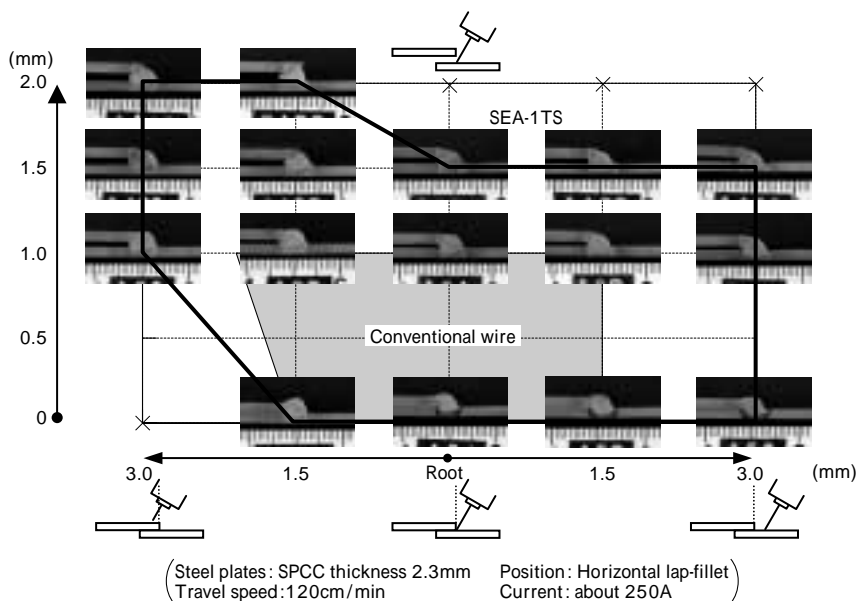


図9 ワイヤ狙い位置およびギャップとビード形状

Fig. 9 Relationship of bead shape with wire target position and root opening in lap groove

表 1 SEA-1TS のワイヤ成分と溶着金属の機械的性質

Table 1 Chemical composition of the wire and the mechanical properties of deposited metal of SEA-1TS

Chemical composition of the wire (wt%)						Mechanical properties of deposited metal				
C	Si	Mn	P	S	Cu	YP (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	RA (%)	Absorbed energy (J)-20
0.05	0.78	1.26	0.009	0.006	0.02	448	532	33	75	139

(Welding conditions : Conform to JIS Z3312, Plate thickness ; 20mm, Heat input ; 17kJ/cm, Interpass temp. ; 150)

囲で良好なビード形状を有し、ギャップ裕度大きい。

3. ワイヤ成分と溶着金属の機械的性質

表 1 にワイヤ成分とJISに従って溶接した際の溶着金属の機械的性質を示す。490N/mm²級として十分な強度と靱性を有している。なお、薄鋼板の場合は 590N/mm²級鋼板までは問題なく十分な継手強度が得られ、適用可能である。

むすび = SEA-1TSは薄板のパルスマグ溶接専用開発された高性能ワイヤであり、生産能率や耐欠陥性だけでなく、ワイヤ送給性やアーク安定性、低スパッタ性といった溶接作業性もこれまでの銅めっきパルスマグ用ワイヤを凌ぐ性能を有している。今後、ますますパルスマグ溶接法の適用が広がっていくことは間違いなく、SEA-1TSが活躍する機会が増えると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 鈴木励一ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.52，No.3(2002)，p.74.
- 2) 上山智之：溶接技術，Vol.48(2000)，p.104.
- 3) 三田常夫：溶接技術，Vol.51(2003)，p.99.
- 4) 松井仁志：溶接学会溶接法研究委員会 溶接法ガイドブック アーク溶接の自動化技術(1995)
- 5) 鈴木励一：神戸製鋼所溶接だより技術がいど，No.368(2000)，p.1.
- 6) R. Suzuki et al. : International Institute of Welding 2001，X - 1679-01.
- 7) 清水弘之：R&D 神戸製鋼技報，Vol.50 No.2(2000)，p.15.
- 8) H. Shimizu et al. : International Institute of Welding 2001，X - 1681-01.