

ノーシールド半自動溶接による薄板の溶接

東京職業能力開発短期大学校 塚本文彦
職業能力開発大学校 安田克彦

No Shield Semi-Automatic Arc Welding Method for Thin Steel Plate Welding

Fumihiko TSUKAMOTO, Katsuhiko YASUDA

要約

炭酸ガスアーク溶接などの半自動溶接法は、高能率に各種板厚の溶接が可能であることから幅広い工業分野で広く利用されている。ただこの溶接にあたっては、溶接部のシールド作用を得るため送給している炭酸ガスが、風速 2 m 程度の風でも乱されることから屋外で溶接を行うような場合には有効に適用できない。

本報告では、屋外での軽量鉄骨の場合をはじめ幅広い用途が考えられる薄板のノーシールド溶接について、炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤや試作ノーシールド用ソリッドワイヤ、細径セルフシールド用フラックス入りワイヤを使用してその基礎的な検討を行った。

その結果、炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤを用いたノーシールド溶接は、ブローホールの発生という点から実用に供し得ない。しかし、炭酸ガスアーク溶接用ワイヤ程度の脱炭元素に加え、Ti や Zr などの脱窒元素を添加した試作ソリッドワイヤによるノーシールド溶接では、ワイヤ組成、溶接条件を適切に選択することでほぼ良好な溶接が可能であることが確認された。しかし、現段階では、細径セルフシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤによるノーシールド溶接が屋外での薄板溶接に対して最も実用性が高い。ただ、溶込みが少ないため、この面でのワイヤの改良が望まれる。

I 緒言

炭酸ガスアーク溶接法は、溶接ワイヤの熔融金属の移行現象を変化させることで厚板から薄板まで高能率な半自動の溶接が可能で、ロボットなどと組み合わせることにより自動化も容易である。こうしたことから、鉄鋼材料を主として利用する鉄骨や造船、自動車といった幅広い工業分野で広く利用されている。

ただ、この溶接法は、熔融した金属を大気から保護するために炭酸ガスをシールドガスとして利用していることから、風速 2 m 程度の横風で溶接金属にブローホールを発生するなどの問題がある。したがって、溶接作業はおおむね屋内に限られ、建築など屋外で作業を行う場合には、①防風対策を行う、②風に強い被覆アーク溶接法を用いる、③自己シールド作用を有するセルフシールドの溶接を利用する、などの対応が必要となる。しかし、これらのいずれの方法においても、

それぞれに問題が残る。

本報告では、屋外での軽量鉄骨をはじめ幅広い用途が考えられる薄板のノーシールド半自動溶接について、その基礎的な検討を行った。

II 炭酸ガスアーク溶接用ワイヤによるノーシールド溶接

図 1 は、薄板溶接に一般的に使用されている炭酸ガスアーク溶接用ワイヤを用い、従来どおりシールドガスを使用する方法と全く使用しないノーシールドの方法で行った場合の溶接結果である。いずれの場合も市販の炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤを用い、板厚 3.2mm の SPHC 材の溶接を図中の条件で溶接電流とアーク電圧を変化させて行い、溶接中の平均的な短絡回数と形成されるビード形状に着目して整理してある。なお、以後の検討を含め、溶接は全て市販の 350A インバータ制御炭酸ガスアーク溶接機を使用した。

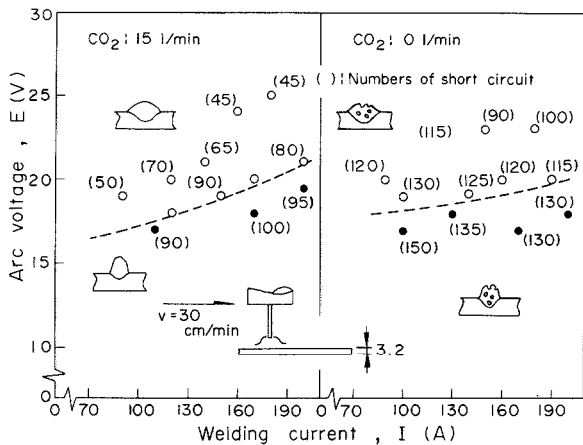


図1 炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤによる溶接に及ぼすシールドガス状態の影響

図からわかるように、いずれの方法においても、短絡回数が多くなる条件では極端な凸ビードとなり、溶込みも浅くなる傾向を示す。なお、シールドガスを用いないノーシールド溶接では、当然のことながら空気中の巻き込みによるブローホールの発生が顕著となり、ビード表面にはピットが発生する。ただ、ノーシールド溶接は炭酸ガスアーク溶接の場合に比べ全般的に短絡回数が多く、100回前後の短絡回数を示す条件においてもビード形状面からは良好な結果となっている。これは、ノーシールドとしたことで、炭酸ガスアーク特有のアークの反力による熔融金属の保持作用がなくなったためである⁽¹⁾。

したがって、ソリッドワイヤによるノーシールドのショートアーク溶接は、ブローホールの発生対策さえできれば、スパッタ発生が少なく安定な溶接が可能となることわかる。

なお、本検討では、ワイヤの極性を一般的に採用されている直流棒プラス(DCEP)として溶接を行っている。ただ、棒マイナス(DCEN)の場合についても検討を行ったが、電極となるワイヤが冷陰極材料⁽²⁾であることからワイヤの溶融量に比べ母材の溶融量が極端に少なく、特殊な条件の場合を除き実用には供し得ないと考えられる。

III ソリッドタイプノーシールド溶接用ワイヤの試作および溶接

ソリッドワイヤによるノーシールドの溶接は、シールドガスを使用しないメリットに加え、アークの安定性やスパッタの発生が少ないなど作業性の面でも有効となる。ただ、市販の炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤでは、ブローホールを多発し実用には供し得ない。そこで、この種の目的に有効になると考えられる

ソリッドタイプのノーシールド溶接用ワイヤによる溶接について検討した。こうしたワイヤの試みは過去にも行われたことがある⁽³⁾が、厚板材料への適用を試みていたことや溶接機自体の性能が悪かったことで実用されていない。

	Chemical compositions (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Zr	Al
Conventional CO ₂ -wire	0.10	0.45	1.12	0.015	0.010	—	—	—
Trial wire type (a)	0.07	0.32	1.22	0.006	0.010	0.28	0.23	0.04
Trial wire type (b)	0.08	0.36	1.20	0.019	0.021	0.11	0.16	0.04

表1 市販炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤ及び試作ノーシールドアーク用ソリッドワイヤの組成

表1が、本目的のために試作した二種のワイヤの組成を従来の炭酸ガスショートアーク溶接用ワイヤのものと比較して示したものである。試作ワイヤは、表に示すように従来の炭酸ガスアーク溶接用ワイヤ程度のMn, Siといった脱酸元素に加え、脱窒作用を有するとされるTi, Zr, Alを加えてある。

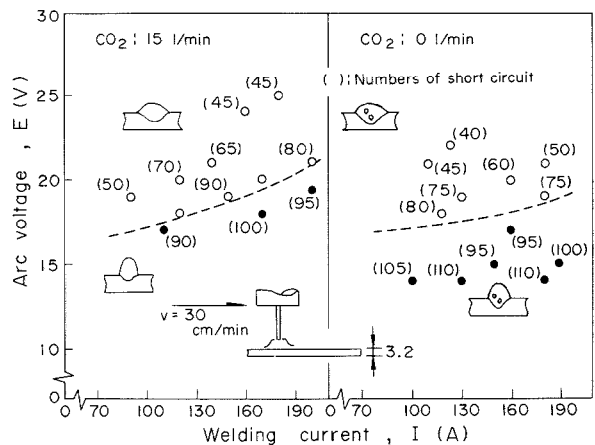


図2 溶接方法の違いによる溶接現象ならびにビード形状の差異

図2は、試作(a)ワイヤを用いて板厚3.2mmのSPHC材にノーシールド溶接を行った結果で、前述した炭酸ガスショートアーク溶接のものと比較して示してある。試作ワイヤを用いたノーシールドの溶接では、図1に示した炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤを用いた炭酸ガスアークとノーシールドアークの中間的な溶接特性を示す結果となっている。すなわち、同一電圧における短絡回数は炭酸ガスショートアーク溶接の場合と類似する一方、凸ビードとなる領域はノーシールドの溶接の場合に類似している。なお、ビード表面のピットは認められず外観的にはほぼ良好な結果となるが、後述するようにビード内部にはブローホールの残存が認められた。

Welding wire	120 A		160 A	
	14V	18V	17V	20V
Type (a)				
Type (b)				

Base metal: SPHC (t=3.2mm)

図3 試作ワイヤによるノーシールド溶接結果

図3は、試作ワイヤ二種を用いて板厚3.2mmのSPHC材にビード溶接した場合のビード外観とそのX線透過試験結果を示したものである。いずれのワイヤを用いた場合においても、母材表面に付着しているスパッタは少なく、外観的には良好な溶接結果が得られている。一方、ビード内部のブローホールの残存に着目してみると、(a)ワイヤに比べ(b)ワイヤの方がその発生は少なく、完全とはいえないがほぼ良好な結果に近づいている。したがって、過剰な合金元素の添加はむしろ欠陥発生の方では問題があることがわかる。

図4は、母材の材質及び溶接条件が、試作ワイヤによる溶接に及ぼす影響について調べた結果である。試

I (A)	E (V)	Welding speed	
		20 cm/min	45 cm/min
120	18		
160	20		
	24		
180	21		
	25		

Welding wire: Type (a)
Base metal: SS400 (t=9.0mm)

図4 ノーシールドアーク溶接結果に及ぼす溶接条件の影響

作(a)ワイヤを使用し、板厚9mmのSS400材にノーシールド状態でビード溶接を行っている。前述した母材にSPHC材を使用した結果と比較すると、同じ(a)ワイヤを使用した場合でも、母材にSS400を用いた溶接ではブローホールの発生が少なくなっており、良好な溶接結果が得られている。すなわち、試作したワイヤを用いる溶接では、母材中の酸素含有量の違いなどの影響によってブローホールの発生が左右されることがわかる。一方、溶接条件に着目してみると、45cm/minより20cm/minといった比較的低速度の条件で、またアーク電圧についても低電圧の条件でブローホールの発生が少なくなる傾向を示している。

	Bead appearance	Bending test result
Face side		
Back side		

Base metal: SPHC (t=3.2mm)

図5 試作(a)ワイヤによる薄板の片面溶接結果

図5及び図6は、試作(a)ワイヤによる実用継手の溶接について検討した結果である。前者は、板厚3.2mmのSPHC材の片面溶接を行った結果で、従来の炭酸ガスショートアーク溶接に比べると裏波の形成がやや難しい。ただ、図に示すように溶接は一応は可能で、ビードを削除しない継手の曲げ試験においても良好な曲げ性能が得られている。また、後者の板厚9mmのSS400材のV型突合わせ溶接では、外観的には従来の方法に匹敵する溶接が可能となるものの、多層溶接となるため各層間にブローホールを残存するような問題が生じる。

以上のように、試作ソリッドワイヤによるノーシールド溶接は、単層で行う溶接などに対してはある程度有望であると考えられる。この場合、ビード形状が凸とならない範囲で低電圧、低速度の条件で溶接を行うことが望ましい。ただ、欠陥の発生を全くない継手を得るには、ワイヤの改良が必要であることが明らかとなった。

IV 市販セルフシールドフラックス入りワイヤによる溶接

これまでの検討から、ソリッドワイヤによるノーシールド溶接の有効性は認められたものの、現段階では試作したワイヤにおいても完全な継手を得ることが難しいことがわかった。従来、ノーシールドの半自動溶接に関しては、ガス発生などの機能を有するフラックスをワイヤ中に充填した複合ワイヤを用いるセルフシールドアーク溶接が利用されている。ただ、この方法では、溶接に必要なフラックス量を確保するため太径ワイヤしか開発されていなかったこともあり、軽量鉄骨など低電流で行う薄板溶接には適用し得なかった。

しかし、屋外における薄板溶接が注目されるようになったことから、ごく最近になって溶接ワイヤメーカーより細径のセルフシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤが市販されるようになった。そこで、このワイヤによる薄板のノーシールド溶接についての検討を行った。なお、本ワイヤの使用に関しては、専用溶接機を使用するなど作業条件が限定される⁽⁴⁾といった問題があったが、ワイヤ送り方法や溶接トーチの改造を行うことでこれまでに使用してきた溶接機による検討を可能にした。また、本検討でのワイヤでは、これまでとは逆の棒マイナスの極性で溶接することをメーカーでは推奨している。図7は、メーカー推奨とは逆の棒プラスの極性で溶接した結果を示したもので、通常の清掃では除去できないようなスパッタがビード表面に多数付着しており、この極性が実用に供し得ないことがわかる。従って、以後の本ワイヤの検討は全て棒マイナスの極性で行った。

図8が、1.2mm径のセルフシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤを用いて板厚3.2mmのSPHC材にビード溶接を行った結果である。図から明かなように、セルフシールド用のワイヤを使用した溶接は、炭酸ガスショートアーク溶接に比べ同一条件における短絡回数が少なく、凸ビードとなる領域がかなり低電圧側へ移っている。なお、凸ビードとならない条件での短絡回数は40回程度以下であり、本ワイヤのビード形成面からの適正電圧条件は、短絡が生じ始める条件付近を目安に設定できることを示唆している。また、図9は、本ワイヤを使用する場合の適正電圧条件を、ブローホールの発生などの溶接結果に及ぼす影響の面から調べた結果である。120A、10.5Vといった凸ビードを形成する電圧条件でもブローホールの発生は認め

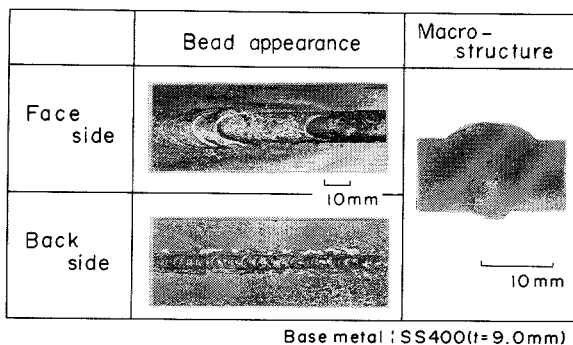


図6 試作(a)ワイヤによるV型突合せ溶接結果

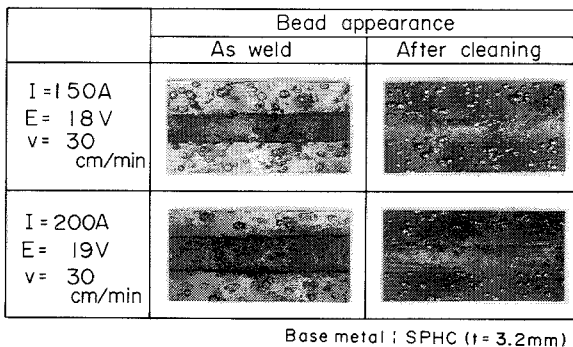


図7 セルフシールドワイヤによる棒プラスのノーシールド溶接結果

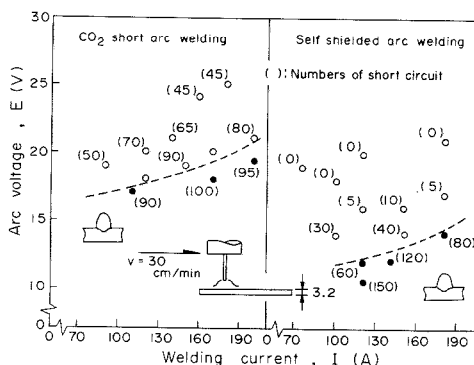


図8 溶接方法の違いによる溶接現象ならびにビード形状の差異

I (A)	E (V)	Bead appearance	X-ray test result
120	10.5		
	16.0		
	20.0		
180	14.0		
	17.0		
	21.0		

Base metal : SPHC (t = 3.2mm)

図9 セルフシールドワイヤによる溶接に及ぼす溶接条件の影響

られない。しかし、良好なビード形状が得られる電圧条件範囲においても、必要以上に高い電圧に設定するとビード止端部にブローホールや一部ピットも発生するようになっている。これは、アーク長さが長くなることで十分なシールド作用を確保することができなくなったためである。したがって、上述した短絡現象が発生し始める電圧付近を適性電圧の目安とすることが、ビード形状だけでなく欠陥発生防止の面からも有効であることがわかる。

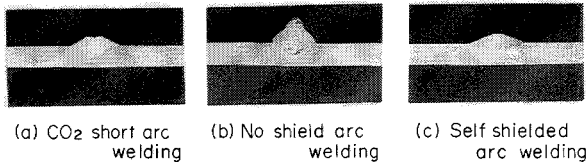


写真1 溶接方法の違いによる溶込み形状の差異

写真1は、セルフシールド用ワイヤを用いた溶接の溶込み特性を、他の方法の場合のものと比較して示したものである。いずれも同一条件で溶接を行っているが、(c)のセルフシールド用ワイヤで溶接を行った場合は、他の方法に比べ特に浅い溶込みとなっている。このことは、基本的には薄板溶接に適しているといえるが、薄板溶接でもある程度の溶込みを必要とする溶接には開先加工を必要とするなどの問題点のあることを示唆している。そこで、セルフシールドの溶接の溶込みを、溶接トーチの保持角で改善することを目的に行った検討結果が図10である。図からわかるように、

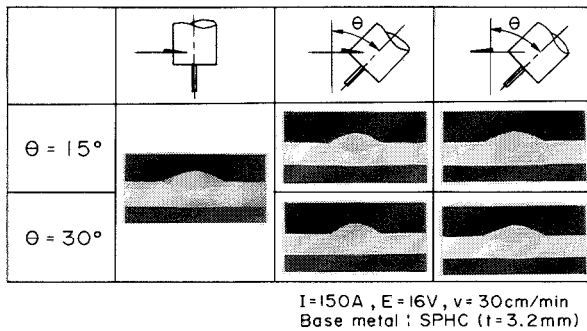
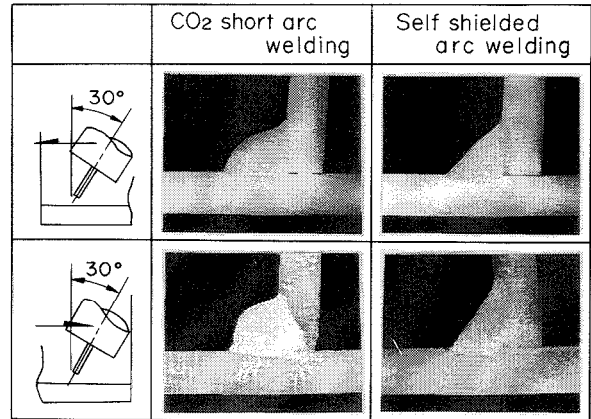


図10 セルフシールドワイヤによる溶接の溶込みに及ぼすトーチ角度の影響

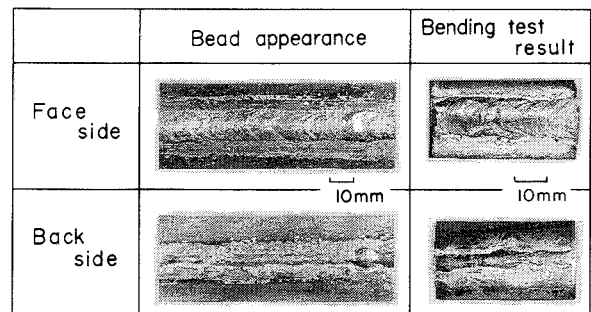
トーチを進行方向に対して傾ける後退法において溶込みの改善が認められる。このように、溶接施工面の工夫で溶込みの若干の改善は可能となる。ただ、顕著な改善が認められる後退角30°での溶接を突合わせ溶接に適用する場合には、シールド作用の低下によるブローホール発生危険性が予測される。

図11～13は、セルフシールドワイヤによる実用継手



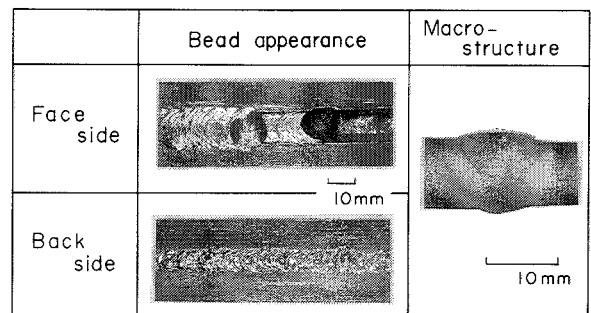
I=150A, E=16-19V, v=30cm/min
Base metal: SPHC (t=3.2mm)

図11 薄板すみ肉溶接に及ぼす溶接方法の影響



Base metal: SPHC (t=3.2mm)

図12 セルフシールドワイヤによる薄板の片面溶接結果



Base metal: SS400(t=9.0mm)

図13 セルフシールドワイヤによるV型突合せ溶接結果

の溶接について検討した結果である。図11が、薄板の水平隅肉溶接を行った結果で、ソリッドワイヤを用いた炭酸ガスアーク溶接の場合と比較して示している。トーチ角度30°の前進法と後退法で溶接を行っているが、いずれの場合も炭酸ガスアークのものとは比べビード表面が平滑に改善されてはいるものの、前述した平板ビード溶接のような溶込みの改善は認められない。

図12は、板厚3.2mmのI型突合せ片面溶接を行っ

た結果である。従来の炭酸ガスアーク溶接に比べ裏ビードの形成は難しく、溶接部裏面の一部には片溶け現象が認められる。ただ、裏ビードが形成された継手についての曲げ性能に関しては、表、裏面とも写真のように全く問題のないことが確かめられた。また、図13に示した、板厚9 mmのV型突合せ溶接においても、第1層の裏波溶接をはじめいずれの層の溶接もウィービング操作を行うことで、ほぼ良好な溶接が可能となっている。

以上のように、現段階でのノーシールドの薄板溶接に関しては、細径セルフシールドアーク溶接用フラックス入りワイヤを使用する方法が実用性が最も高いと考えられる。しかし、溶込み特性の改善などを考慮すると、試作したノーシールド用ソリッドワイヤの改良や、このワイヤに少量のフラックスを添加する複合化などが有効であると考えられる。

V 結論

薄板のノーシールド半自動溶接の基礎的な検討を行った結果、以下のことが明かとなった。

- 1) 市販の炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤを用いたノーシールド溶接では、安定な短絡移行現象が認められスパッタの発生も少なくなるが、ブローホールの発生で実用に供し得ない。
- 2) 脱酸元素に加え脱窒元素であるTiやZrなどを添加した試作ソリッドワイヤによるノーシールド溶接では、ワイヤ組成や溶接条件を適切に選択することで、ブローホールの発生の少ない安定な短絡移行の溶接が可能となる。ただ、欠陥発生のない良好な継手を得るにはさらにワイヤの改良が必要である。
- 3) 現段階では、市販の細径セルフシールド用フラックス入りワイヤによる溶接が屋外での薄板溶接に最も適している。この場合、電圧を溶接中の短絡現象が発生する付近に設定することが望ましい。ただ、溶込みが他の半自動溶接に比べて少なく、この面でのワイヤの改善が望まれる。

参考文献

- (1) 益本、岡田共著：半自動・自動アーク溶接、産報出版、(1978) P44-48
- (2) 益本、岡田共著：半自動・自動アーク溶接、産報出版、(1978) P58-59
- (3) 小林、手塚：無被包消耗電極アーク溶接、特許公報・昭40-23482 (1965)
- (4) 橋本：溶接だより技術ガイド、No.267 (1992)、