帯状電極によるサブマージアーク溶接法*

— 肉盛溶接への適用性 —

小 椋 陽** 豊 岡 恒 夫**

On Submerged Arc Welding with Strip Electrodes*

— Applicability for Cladding and Hard Facing —

By Yō Ogura** Tsuneo Toyooka**

1. ま え が き

一般に、肉盛溶接と呼ばれている溶接法の中には、補修、表面硬化、ライニング（クラディング）と、それぞれ異なった目的をもつものが包含されている。

いづれの目的においても、多量の溶着金属を必要とし、さらに異種金属を肉盛する、硬化肉盛、ライニングでは、母材への溶け込みの少いことが能率、経済性、あるいは品質の点において欠かせない重要な条件である。

サブマージアーク溶接は、非常に高い溶着能率を有するが、反面、溶け込みが深いという肉盛溶接には、はなはだ好ましくない特長がある。

したがってサブマージアーク溶接を肉盛に適用する場合には、その能率を犠牲にしたり、あるいは、シリーズアーク溶接という特殊な方式を採用している。

このシリーズアーク溶接は、とくにライニング溶接に用いて、能率、品質ともにすぐれたものが得られるが、いっぽう、諸因子の調整に注意が必要であり、装置も複雑、大形となる欠点がある。

理想的な肉盛法としては、各種因子の影響が少なく、能率のすぐれた方法であること、さらに簡単な装置であることが望ましい。

帯状電極を使用するサブマージアーク溶接法は、現在もっともこの要求に適すもので、今後の肉盛溶接のあり方として、注目すべき方法と考えられる。

鋼帯電極を用いたサブマージアーク溶接の研究は、日本でもすでに数年前に行なわれている。

この研究の第一の目的は、装置の小型化で、対象も板継ぎにあった。

したがって、ある程度の溶け込みが必要であり、電極巾/厚比も小さいものが使用された。

このままでは、肉盛溶接には適用しえないが、鋼帯電

極サブマージアーク溶接の諸特性をよく検討した結果、電極の巾/厚比を大きくすることにより、肉盛溶接の要求に適合する性質の得られることが明らかとされた。

本資料では、巾/厚比の大きい（21～100）電極によるサブマージアーク溶接の基礎的な諸特性について述べる。

2. 溶 接 装 置

この溶接には、標準のサブマージアーク溶接機を若干改造したものが用いられる。

すなわち、帯状電極を送給するための広巾ロールをもつ送給装置と、電極への給電には、Jaw 形式のコンタクト部を必要とする。

写真-1は、実験に用いたもので、13～70 mm 巾の帯状電極を送給することができる。

電極の送給方式としては、定速、可変速の何れでもよ

写真-1 帯状電極用サブマージアーク溶接機（電極送給装置）

*原稿受付 昭和39年7月20日

**正員 大阪変圧器溶接機事業部 Member, Osaka Transformer Co. Ltd. Weldbr Din.

いが、電極厚みが非常に薄い場合、あるいは軟質の電極の場合には、定速送給の方がよいように思われる。

溶接電源としては、交流、直流、垂下、定電圧特性の何れでもよいが、定電圧特性の直流電源を用い、定速送給を行なうものが、もっともすぐれた作業性が得られるようである。

3. 帯状電極によるサブマージアーク溶接の諸特性

以下の説明はすべて電極に軟鋼、フラックスは G50 を使用したものである。

3.1 電極溶融速度

図一 1 に各サイズ電極の電流と溶融速度の関係を示す。

3.1.1 電極の形状の影響

図一 1 から明らかなように、丸電極に比し、一般に帯状電極の溶融速度は大きくなっている。

また帯状電極でも同一電流密度における比溶融量を比較すると、表一 1 のようになり、巾/厚 比の大きい程、比溶融量は大きい。

図一 2, 3 は、同一断面形で、それぞれ断面形状の異なった電極の溶融速度を比較したもので、この結果も、巾/厚 比の大きい程溶融速度が大となっている。

図一 1 電極溶融速度

表一 1 電極形状と比溶融量

極 性	電 極 形 状	電 流 (A)	比 溶 融 量 (mg/A. Sec)
DCSP	0.4×40 mm	800	7.33
	0.4×32	640	7.15
	0.4×19	380	6.50
	3/16φ	900	5.55
DCRP	0.4×40 mm	800	5.05
	0.4×32	640	4.85
	0.4×19	380	4.80
	3/16φ	900	4.45

(電流密度 50 A/mm²)

図一 2 電極断面形状と溶融速度 (断面積 23.2 mm²)

図一 3 電極 巾/厚 比と比溶融量 (波形率 0.9 で補正)

これは次に述べるように電極の溶融状態に差があることが原因と考えられる。

3.1.2 極性の影響

図一 1, 表一 1 から明らかなように、正極性では逆極性に比し、電極溶融速度は20~40%増となっており、増加の割合は、巾/厚 比の大きい程大となっている。

図 4 ~ 7 は、帯状電極によるサブマージアーク溶接のオシログラムの 1 例である。

図一 4 電圧・電流オシログラム DCSP 700 A 31 V (0.4×40 mm)

図-5 電圧・電流オシログラム
DCSP 700 A 43 V (0.4×40 mm)

図-6 電圧・電流オシログラム
DCRP 700 A 31 V (0.4×40 mm)

図-7 電圧・電流オシログラム
DCRP 700 A 43 V (0.4×40 mm)

比較的電圧が高く逆極性の場合、スラグの抵抗発熱による溶融が比較的多くみられる。しかしその他の場合に概ねアークとなっており、電圧波形を注意してみると鋸刃状になっている。これはアークが電極先端から一様に発生しているものではなく、局部的に発生し、電極の巾に亘って移動していると考えられる。

丸電極では、ある電流密度以上になるとアークは電極の略全面から発生すると考えられる。したがって電極として電流密度は同一であっても、陰極点あるいは陽極点の電流密度は帯状電極の方が大きく、溶融速度が増大す

るのではないかと考えられる。

逆極性に比べ正極性のほうが、電極形状の影響の大きい理由は、陰極降下のほうが陽極の場合より溶融に対して大きな影響をもつためと考えられる。

3.1.3 アーク電圧の影響

図-8にアーク電圧と溶融速度の関係を示す。

正、逆極性ともにアーク電圧の上昇につれて、溶融速度は僅かに増大している。丸、帯状電極とも同様の傾向にあるから、電極形状には関係はなく、溶接速度が遅いため、電極周辺に大きな溶融スラグ浴が形成され、その予熱効果、あるいは抵抗発熱などが影響したものと考えられる。

3.2 フラックス-電極溶融比

3.2.1 電流の影響

フラックス/電極の溶融比（以下フラックス比と呼ぶ）は、電流値そのものにはあまり影響されない。これは丸電極の場合でも同様の傾向を示す。

図-9は、電流とフラックス比の関係を示すもので、帯状電極では、一般に丸電極より大きい。この傾向はとくに逆極性において顕著であるが、これはビード巾の広いこと、丸電極に比し溶け込みの浅いこと、電圧の高い

図-8 アーク電圧と電極溶融速度

図-9 溶接電流とフラックス比

場合には、スラグ溶接のような抵抗導電になりやすいことが原因と考えられる。

正極性では、電極溶融速度が非常に大きいこと、ビード巾の狭いことがフラックス比を減少させる因と考えられる。

3.2.2 アーク電圧の影響

図-10にアーク電圧とフラックス比の関係を示す。同アーク電圧の影響はきわめて大きい。これは丸電極でも同様の傾向を示すが、一般に帯状電極のほうがフラックス比が大きいので、作業性を損なわない程度に低い電圧に保つことが望ましい。

3.2.3 電極角度の影響

帯状電極の場合、電極が進行方向となす角は、図-11に示すように、 $\theta=0^\circ$ （仮りにタンデム位置と呼ぶ）から、 90° （トランスバース位置）まで自由に代えうる。

この角度とフラックス比の関係を図-12に示す。

タンデム位置のほうがトランスバース位置の場合よりフラックス比は小さくなっているが、これはビード巾、溶け込み深さの相異によるものと考えられる。

3.3 ビード形状

3.3.1 電流の影響

図-10 アーク電圧とフラックス比

図-11 電極角度

図-12 電極角度とフラックス比

図-13, 14に電流とビード形状の関係を示す。

正極性では、電流増加とともに、ビード高さ、巾ともに増加するが、溶け込みの変化は少なく、溶け込み深さも少ないビードが得られる。

しかし、電流値が大きくなると、オーバラップ気味になりビード外観、スラグ剥離性が若干劣下する。

逆極性では、巾、溶け込みが増加するが、ビード高さの変化は少なく、扁平で美しいビードが得られる。

図-15は、丸電極 ($3/16'' \phi$) によるビード形状を示すもので、溶け込みに著しい差がみられる。

電極の形状の影響も無視できない。すなわち、巾/厚比の大きい場合溶け込みは一般に少ないが、この比が小さくなると、溶け込みが大きくなる。

図-13 溶接電流とビード断面形状（電極巾変化）

図-14 溶接電流とビード断面形状 (電極厚変化)

図-15 溶接電流とビード断面形状 (丸電極)

この原因として考えられるのは、前述のように帯状電極でのアーク発生域が全面でなく、相当早い速度でオシレイト運動していることがあげられる。

すなわち、丸電極では、アークはあまり動き廻らないのに対し、広巾になるにしたがって、陰極点あるいは陽極点の運動範囲が大となり、速度も早くなるため、溶け込みが減少するものと考えられる。

したがって肉盛溶接のように、母材への溶け込みの少ないことが必要な溶接では、できる限り広巾で薄肉の電極を使用することが望ましい。

3.3.2 アーク電圧の影響

図-16にアーク電圧とビード断面形状の関係を示す。

丸電極では、溶け込み深さ、ビード巾、高さともにアーク電圧の影響を大きく受けるのに対し、帯状電極では、アーク電圧が大巾に変化しても、ビード断面形状には大きな変化が見られない。

写真-2 溶接電流とビード断面形状 (0.4×32 mm)

写真-3 溶接電流とビード断面形状 (0.4×40 mm)

これは、電流の影響とともに、銅帯電極の特筆すべき特長であって、これら諸因子の影響の少ないことは、安定な作業を行なううえに非常にすぐれた性質といえる。

一般にアーク長が短くなると溶け込みが増大するので

写真-4 溶接電流とビード断面形状
($\frac{3}{16}$ " ϕ)

写真-5 溶接電流とビード断面形状
(0.4×19mm)

写真-6 溶接電流とビード断面形状
(0.6×19mm)

写真-7 溶接電流とビード断面形状
(0.8×19mm)

あるが、広巾の帯状電極では、図 4～7 から明らかに、陰極点あるいは陽極点の移動が激しくなり、オシレイト速度が増大するため、溶け込みはあまり変化しない。巾もある程度電極巾により規制されるためビード諸元の変化が少ないものと考えられる。

3.3.3 電極角度の影響

図-17 に電極角度とビード断面形状の関係を示す。

タンデム位置では、ビード巾狭く、溶け込みが大とな

図-16 アーク電圧とビード断面形状

写真-8 アーク電圧とビード断面形状 (鋼帯電極)

っており、トランスバース位置ではこの逆の傾向にある。

とくに正極性のタンデムでは、作業性、ビード外観にも問題があり、推奨できる位置ではない。

電極角度によるビード断面形状の変化は、多電極溶接における、タンデムとトランスバースの差と同様の傾向を示すが、これはアークの運動方向の相異によるものと解釈される。

写真-9 アーク電圧とビード断面形状 (丸電極)

図-17 電極角度とビード断面形状

すなわち、アークが、溶接線に平行に移動するか直角方向に移動するかで説明できる。

3.4 稀 釈 率

帯状電極によるビード断面形状をみれば、溶着金属が母材により稀釈される程度の少なことは容易に想像できる。

3.4.1 電流の影響

図-18に電流と稀釈率の関係を示す。

丸電極では溶け込みが深いため、稀釈率も電流とともに増加している。

帯状電極では、一般に溶け込みが少ないので稀釈率は低い。逆極性では、ビード巾の大きいこと、溶け込みが若干深いため、稀釈率も15~30%となっている。

しかし正極性では、電流が増大しても稀釈率はほとんど変化せず、10%以下で、相当大電流でも、肉盛溶接に

写真-10 電極角度とビード断面形状 (鋼帯電極)

図-18 溶接電流と稀釈率

適用できることを示している。

3.4.2 アーク電圧の影響

丸電極、带状電極何れも、アーク電圧による稀釈率の変化は少ない。

ビード断面形状から考えても当然の結果である。

3.4.3 電極角度の影響

図-20に電極角度と稀釈率の関係を示す。

正極性のタンデム位置で、稀釈率が異常に高くなっているが、これはこの位置での溶接の不安定なことが影響しているもので、実際にはもっと低い値と思われる。逆極性で、トランスバース位置で増加しているのは、ビームが広いことが影響している。

3.5 クレータ長さ

図-21に電流とクレータ長さの関係を示す。

クレータ長さに、電流値に略比例的に増加している

図-19 アーク電圧と稀釈率

図-20 電極角度と稀釈率

図-21 溶接電流とクレータ長さ

が、带状電極では、丸電極に比し、約20%短い。

この原因は、明らかでないが、いづれにしても電極形状の影響で、アーク状態の差と考えられる。

このようにクレータ長さの小さいことは、円周溶接の多い肉盛溶接では、有利な特長といえる。

表一 2 溶接法別電極溶融速度, 稀釈率比較
(電流 500 A)

溶 接 方 法	DCRP		DCSP	
	電 極 溶 融 量 (g/min)	稀 釈 率 %	電 極 溶 融 量 (g/min)	稀 釈 率 %
標 準 法 (3/16" φ)	105	40~50	170	25~40
オシレイト法 (1/8" φ)	110	30~40		
シリーズアーク法 (3/16" φ)	AC 210	AC 15~25		
鋼 帯 電 極 法 (0.4×19 mm)	180	15~25	220	5~15
" (0.4×32 mm)	135	10~20	200	5~15
" (0.4×40 mm)	130	10~20	180	0~10

表一 3 溶接法別最適条件表

溶 接 方 法	溶 接 条 件	電極溶融量 (g/min)	稀釈率 (%)
標 準 法 (3/16" φ)	500 A (DCSP) 33 V 15 cm/min	170	30
オシレイト法 (1/8" φ)	300 A (DCRP) 30 V オシレイト巾 45 mm " 周期 6 sec	65	30
シリーズアーク法 (3/16" φ)	400 A 20 V 25 cm/min	160	10
鋼 帯 電 極 法 (0.4×40 mm)	700 A (DCSP) 37 V 15 cm/min	270	5

4. 他の肉盛法との比較

サブマージーク溶接による各種肉盛法の比較を表一 2, 3 に示す。何れも軟鋼電極と G-50 フラックスを用いた場合である。

同一電流値における電極溶融量は, シリーズアーク法がもっとも多くなっているが, 作業性, 溶接結果を含め

た最適溶接条件で比較すると, 広巾鋼帯電極によるものが, もっとも能率よく, しかも稀釈率も最低であり, 肉盛溶接には好適の方法といえよう。

5. 結 び

帯状電極を使用すれば, 能率, 品質ともにすぐれた肉盛溶接が可能である。そのためには, できる限り広巾で薄い電極を使用し, トランスバース位置で直流正極性で溶接するのが望ましい。

帯状電極を使用する方法については, 世界各国において研究されており, とくにソ連では実用化されているようである^{2,3)}。

日本においても, 肉盛の需要が増大しつつある現今, この溶接法のもつ数々の利点は, 今後大いに生かされるものと思う。

参 考 文 献

- 1) “鋼帯電極を使用せる高能率溶融溶接の研究” (昭和32年度運輸省試験研究補助による研究) 大阪変圧器報告 1958年 5月。
- 2) Goran Almqvist and Nils Egeman, “Stainless Steel Cladding with Strip Electrodes” Weld & Met. Fab. (1953) No. 7, 294-302
- 3) Yu, M. Belov and N. P. Kashevskii, “Rolling Mill Rolls built up using Strip Electrodes” Automatic welding (1962) No. 10, 71-77