生形態

〔かわいたアンダーカット〕

アークが側壁上部にまではい上り, 大きな一次溶込みを形成する。しかし, 側壁上の熔融金属流が弱くて二次溶込みが小さく, 一次溶込みを二次溶込みで覆いきれない場合, 側壁上に一次溶込みに起因する固体露出面が残る, かわいたアンダーカットとなる。

〔ぬれたアンダーカット〕

アークの側壁上部へのはい上りが低いので, 側壁上に形成される一次溶込みが小さく, 二次溶込みによって完全に覆われる。しかし, 側壁上の熔融金属流が強く, 余りに側壁上部にまで二次溶込みが及び, 側壁上部の熔融金属を表面張力で支えきれず, 釣合の位置まですべり落ちて凝固した結果, ぬれたアンダーカットとなる。

b) 側壁への溶込み角 (θ) とビード表面形状

アンダーカットが発生しない場合, パラツキは大きい $\alpha + \theta$ (α は熔融金属の側壁への接触角) が溶接条件に無関係に一定となる事を実験的に明らかにした。そして θ が大きくなると h (ビードのぬれ高さ) が高くなる事を示すと共に, 表面張力論 (二次元モデル) による計算結果と実測値が良く一致する事を示した。

参 考 文 献

- 1) 西口, 黄地, 平岡: *ノン・ガスシールド・アーク溶接におけるビード形成現象* 本誌, Vol. 44 (1975), No. 10
- 2) 西口, 黄地, 松井: *肉盛および隅肉溶接現象に関する基礎的研究 (第2報)*, 本誌, Vol. 45 (1976), No. 2
- 3) 石崎, 熊谷, 牧野: *アーク溶接現象に関する界面張力理論 (第8章)* 本誌, Vol. 34 (1965), No. 2

鋼のCO₂ アークスポット溶接 (第2報)*

—アーク熱による母板の動的変形挙動—

小野 英彦**, 小幡 鍊***, 寺本 富彦**, 松田 隆博**

CO₂ Arc Spot Welding in Steel (Rept II)*

—Dynamic Deformation Characteristics of Base Plate—

by Hidehiko Ono**, Ren Obata***, Tomihiko Teramoto** and Takahiro Matsuda**

The dynamic deformation occurring on the welded plate during arc spot welding was investigated. As a result, it was observed that the welded plate deformed to the plus side of the plate (welding side) at about the same time as arc ignition and the deformation reached a maximum soon after. When the deformation reached the maximum, it reversed itself, reached zero, and then proceeded towards a maximum at the minus side (back side) of the plate.

In terms of arc time, in mild steel (plate thickness < 8 mm), the deformation toward the plus side reached its maximum value in less than 50% of arc time and returned to zero before the arc was extinguished (i.e. within the arc time).

However, these characteristics changed with the material welded, as has been shown by similar experiments on stainless steel and aluminium alloy plate.

1. ま え が き

比較的薄い板を重ね合せて溶接するアークスポット溶

接は, 母材が片面から点状に加熱溶融されるので, 溶接部近傍で局所的な変形が発生する。また, 本溶接法は, 溶接時の重ね板間の加圧力が弱いので, 上下板の密着が悪い上に溶接中に母材が熱変形し, 溶接部の板間隙が拡大する事も考えられる。そして, この拡大した間隙へ熔融金属が流出して凝固し, これが挟雑物となって継手部の板の密着を悪くし, 結果的に継手強度のばらつきに

*原稿受付 昭和57年6月21日 (昭和55年度秋季全国大会にて発表)

**正 員 日本車輛製造(株) Member, Nippon Sharyo Seizo Kaisha, Ltd.

*** 日本車輛製造(株) Nippon Sharyo Seizo Kaisha, Ltd.

影響することも考えられる¹⁾。Fig. 1 に示した写真はたまたま上述の傾向が出現したと思われる溶接部の断面マクロであり、上板 0.8 mm、下板 3.2 mm の組合せて溶接前の板間隙を 0 と 0.5 mm としてアークスポット溶接したものである。これを見ると初期板間隙が零でも溶接後に多少板間隙が見られ、その板間隙中にスパッタ状の挟雑物が見られる。初期板間隙が 0.5 mm の場合には、板間隙中にバリ状に飛散した挟雑物が観察される。

そこで、本報では上述のごとく、溶接後の板間隙に影響し、ひいては継手強度のばらつきに影響すると思われる溶接中の板間隙の動的な変形挙動を推定するために、溶接の進行にともなう母板の溶接部直下裏面の板厚方向の変位を実測した。なお、継手強度に及ぼす上下板間隙の影響については、次報で詳述する予定である²⁾。

2. 供試材料および実験方法

実験に用いた溶接法は、下向姿勢の CO₂ アークスポット溶接である。供試母材は SS 41 で、溶接ワイヤは CO₂ アーク溶接用ソリッドワイヤを用い、その直径は 1.6 mm である。その他、アルミニウム合金 (5083) とステンレス鋼 (SUS 304) を用いて材質の相違による母板の変形挙動の違いが比較できるようにした。アルミニウム合金とステンレス鋼を溶接する場合、シールドガスは各々、100% Ar および 98% Ar + 2% O₂ を用いた。溶接ワイヤはアルミニウム合金には Al-Mg 系の 5356 (直径 1.6 mm)、ステンレス鋼には 308 系 (直径 1.6 mm) を用いた。Table 1 に供給母板の化学組成の一例を示す。

Fig. 1 Typical examples of upper plate deformation caused by CO₂ arc spot welding

本報は、溶接中に母板が板厚方向にどのように変形するかを調べたものであり、その実験方法の模式図を Fig. 2 に示す。実験方法は縦横 100 mm の大きさの各種試験板の中心直下の裏面にダイヤルゲージを接触させて、板表面にアークスポット溶接を行った。そしてこの部分の板厚方向の変位量の時間的変化を、動ひずみ計を用いて連続的に測定した。母板の拘束は、中央に直径 30 mm の穴をあけた縦横 200 mm、板厚 6 mm の軟銅板で母材を上下から挟んで行った。変化させた溶接条件域は、溶接電流を 300~450 A、アークタイムを 15~30~ (0.25~0.50 sec) の範囲内で適当に組合せて、各板厚ごとに溶込みがほとんど得られない条件から、溶込みが母板の裏面に達するような条件までとした。

Fig. 2 Schematic explanation of the experimental apparatus

3. 実験結果と考察

3.1 母板の定性的変形傾向

アークスポット溶接した場合の母板裏面の板厚方向の変位量を実測した結果、定性的には Fig. 3 に示すような傾向が見られた。すなわち、溶接アークが点弧すると、最初に母板はプラス側（アークの側）に変形して変位量が最大値に達する。その後マイナス側（裏面側）に変形しはじめ中立面よりマイナス側にでた状態で極値となった後、若干は中立面に立って回復する。母板の板厚や材質、溶接条件の変化によって、 P/t (溶込み深さ比、 P : 溶込み深さ、 t : 板厚) が変化するとともに、 S (アー

Table 1 Chemical compositions of materials

materials	plate thickness(mm)	chemical composition (%)										U.T.S. (KgF/mm ²)	elongation (%)
		C x100	Si x100	Mn x100	P x1000	S x1000	Cr x100	Ni x100	Mg x100	Ti x100	Fe x100		
mild steel	6	13	20	91	13	8	-	-	-	-	-	46	29
SUS 304	4.5	6	44	82	27	6	1804	861	-	-	-	639	58.5
5083	4	-	8	62	-	-	8	-	439	3	25	28.9	27

クタイム)と S_p (溶接開始後母板のプラス側への変位量が最大になるまでの経過時間), S_0 (プラス側への変位量が減少し, 変位量が零になるまでの経過時間)との相対比, あるいは ε_p (母板のプラス側への最大変位量), と ε (アークタイム終了時の母板の変位量)の値が変化する. 変位量を測定した結果と, その時の断面マクロの一例を Fig. 4 に示す. これを見ると母板の変形挙動は, 定性的には次の様に考えられる. 母材のプラス側への変形は, 溶込みが形成されるかなり初期の段階で発生する. これは母板のプラス側表面にのみアーク熱が集中し, この部分が熱膨張するために発生するものであると考えられる. アークタイムが長くなり, 溶込みが進行するに伴って表面側(プラス側)は高温になり溶融池が形成される. このため母板表面の剛性が大幅に低下する. その結果, 溶接部周辺の母板のスプリングバックによってプラス側への変位は少なくなる. さらに溶込みが進行すると母板裏面にまでアーク熱が達し, 裏面側が膨張し, 母板のマイナス側への変形を助長する. アークタイム終了後母板溶接部の板厚方向の温度勾配がなくなると, 母板のスプリングバックによってわずかにプラス側へ変形して一定値になる.

ここで母板の変形挙動を定量的に明らかにするために, Fig. 3 に示した諸要因間の関係に注目して, 以下に実験結果を考察する.

3.2 軟鋼板の変形挙動

Fig. 5 に P/t と S_p/S の関係を示す. この結果によると, 溶込み深さ比が小さい条件では, 母板のプラス側へ

Fig. 3 Typical deformation characteristics (in the plate thickness direction) at the reverse side of plate owing to welding heat input

Fig. 4 Typical deformation patterns of plate and its cross-sectional shape

の変位量が最大となる S_p/S の値は比較的大である. 例えば, 板厚 8 mm では $P/t < 0.3$ の場合に $S_p/S > 1$, つまりアークタイムが終了した後にプラス側への変位量は最大値に達する. しかし, 溶込みが深くなるにつれて S_p/S は小となり, $P/t = 1$ (溶込みが母板裏面に達する)の条件で溶接した場合は, ほぼアークタイムの50%の時間でプラス側への変位量が最大を示すことになる. 板厚が薄くなるほど, プラス側への最大変位量は, より短時

Fig. 5 Relationship between S_p/S and P/t (in mild steel)

間で現われるようになる。

一方、プラス側への最大変位量 (ε_p) と P/t の関係を整理すると Fig. 6 に示すとおりであり、約 0.02 mm から 0.05 mm の範囲でバラツキが大きく、両者には明確な関係が認められない。

Fig. 7 に P/t と S_0/S の関係を示す。この結果によると、板厚 8 mm の軟鋼板の場合、溶込みが母板裏面に達する条件では、アークタイム以内で、母板の変形はプラス側からマイナス側へ変化する。

Fig. 6 Relationship between ε_p and P/t (in mild steel)

Fig. 7 Relationship between S_0/S and P/t (in mild steel)

アークタイムが終了した時点の母板裏面の変位量 (ε) と P/t の関係を示したものが Fig. 8 である。 ε は母板の板厚に大きく依存しており、薄板ほどマイナス側への変位量は大きくなる。しかし、板厚が厚くなると (8 mm), $P/t < 1$ の条件では母板はプラス側へ変形したままである。

実際のアークスポット溶接継手では、下板厚に比べて上板厚は薄く、かつ、上板は $P/t > 1$ 、つまり完全に溶込み下板は $P/t < 1$ である。したがって、Fig. 8 から明らかなように下板に比べて上板のマイナス側への変位量が大きくなり、溶接によって上・下板の間隙が減少することになる。下板が上板に比べて厚板になるほど、上述の傾向は顕著になる。

Fig. 8 Relationship between ε and P/t (in mild steel)

3.3 母板の材質の相違による変形挙動の違い

軟鋼板の場合に見られた変形挙動が、他の材質の場合どのように変化するかを観察するため、ステンレス鋼 (SUS 304) とアルミニウム合金を用いて、アークスポット溶接による母板の変形挙動を調べた。軟鋼板の場合と比較した結果を Fig. 9～Fig. 12 に示す。

Fig. 9, Fig. 10 によると、プラス側への変位が最大になるまでの時間、あるいは変位が零にもどるまでの時間は、アルミニウム合金、軟鋼、ステンレス鋼の順に長くなる。すなわち、熱伝導率の高い材質の母板ほど、変形

Fig. 9 Relationship between S_0/S and P/t (in various materials)

Fig. 10 Relationship between S_0 and P/t (in various materials)

Fig. 11 Relationship between ϵ_p and P/t (in various materials)

挙動は短時間で現われることがわかる。一方, Fig. 11 に各材質について, プラス側への最大変位量 ϵ_p と P/t の関係を示す。これから見てバラツキが大きく, ϵ_p と P/t の関係に及ぼす材質の影響は明らかでない。

Fig. 12 に各材質における ϵ と P/t の関係を示す。これによれば, アークタイム終了時のマイナス側への変位量は, ステンレス鋼, 軟鋼, アルミニウム合金の順に大きくなり, ステンレス鋼 (板厚 4.5 mm) の割合には,

Fig. 12 Relationship between ϵ and P/t (in various materials)

マイナス側へは変形しないことがわかる。Fig. 12 より, 定性的には熱伝導率が高く剛性が低い材料ほどマイナス側への変位量が大きくなると言える。

4. ま と め

アークスポット溶接における母板溶接部の板厚方向の変形挙動を観察した結果, およそ以下のことが明らかとなった。

1) 板厚 8 mm 以下の軟鋼板裏面の変形挙動の定性的傾向は, 溶接アークが点弧すると始めにプラス側 (溶接アークの側) に変形し, アークタイムの50%以内で最大値に達する。その後減少しはじめてアークタイム内で変位量が零にもどった後, 逆にマイナス側 (裏面側) に変形をはじめて極値をなす。そしてわずかにもどった後一定値になる。

2) 下板に比べて上板が薄いアークスポット溶接継手では, 下板に比べて上板のマイナス側への変形が大きくなる。その結果, アークスポット溶接により, 溶接部の上下板間隙が溶接前より狭くなる。

参 考 文 献

- 1) S. A. Agnew, W. N. Canulette: "Improvement of gas metal arc spot welds", Weld. J. Vol. 43 (1964), No. 4, April
- 2) 小野, 小幡, 寺本, 松田: "鋼の CO_2 アークスポット溶接 (第3報) —継手の性能に及ぼす板間隙の影響—", 溶接学会全国大会講演概要, Vol. 31 (1982)