亜鉛鉄板の点溶接*

中村 孝** 浜崎 正信** 小保方貞夫**

Spot Welding of Zinc Coated Steel*

By Takashi Nakamura**, Masanobu Hamasaki**, and Sadao Obokata**

Abstract

Generally, in spot welding of galvanized sheet, it is believed that better conditions than in welding of bare sheet are necessary, and that bare sheet sometime requires 300-400 % of welding current.

We think that the difficulty of resistance welding of galvanized sheet is due to the reduction of the current density, by which the heat generation was decreased. As the cause, the following two can be considered :

- i) Microscopically enlarged area depending on softness of zinc coating. This means less contact resistance.
- ii) Macroscopically enlarged area by spreading of fused zinc depending on the low melting point.

On the basis of such consideration and some experimental demonstration, we could succeed in getting reliable weld even under lower class welding conditions, by using a low inertia holder. (See Table 3 and Fig. 11)

However, as the number of welding spots increases, nugget gradually becomes hard to form owing to the pick-up of zinc coating (even in such a case considerable shear strength can be obtained).

To prevent such pick-up, it is necessary to dress the electrode tips about every 1000 spots.

1. はし が き

亜鉛鉄板の点溶接, シーム溶接に関する文献はかなり発表されているが, 一般に知られている溶接条件は同一板厚の軟鋼のA条件に比較して10%電流¹⁾をまし, 加圧力も大きくとる場合が多い。時には300~400%²⁾も多い電流が使用されることもあり, 点溶接を実施する上において大容量の溶接機を必要とするのでこのような条件は実用上好ましいことではない。一般には亜鉛鉄板の溶接には大容量の溶接機を必要とすると誤解されているきらいがあるが, この実験では実用上最もよく使用される0.4~1.6 mmの板につき, これまでの条件よりも, はるかに低クラスの条件を選定するために実験を行った。また亜鉛鉄板の溶接では溶接の進行につれて, 電極チップに亜鉛がピック・アップし, チップは劣化するとともに溶接部の強度は低下し, ときには全然ナゲットを形成しなくなることがある。このときにはチップをドレッシングして溶接を続行しなければならないわけであるが, 大体何点くらいの溶接でチップをドレッシングしなければならないかということも検討した。実験に使用した亜鉛鉄板はいずれも市販のもので, 亜鉛メッキの厚みは

0.015~0.025 mm のものである。

2. 亜鉛鉄板の溶接困難な原因

亜鉛鉄板の溶接しにくい理由として, 亜鉛の溶融点と沸点との温度差が少なく, 亜鉛の蒸発潜熱のために大きなエネルギーを必要とするために言われているが³⁾, これは電極チップの消耗に対してある程度の説明にはなるが, 溶接しにくいと言う理由としては不十分である。もしも蒸発潜熱がきくならば, 亜鉛より沸点の低いカドミウム・メッキ板は溶接がさらに困難であり, 沸点の高いアルミニウム・メッキ板は, 溶接は容易であるはずであるが, 実際にはカドミウム・メッキ板は比較的溶接容易であるが, アルミニウム・メッキ板は亜鉛と同じくらいむずかしい。したがって溶接しにくい原因として前述のような蒸発潜熱がいくらか影響するかも知れないが, 著者らは別の見解をとっている。その原因は次のように考えられる。

2.1 接触抵抗

0.4 mmの軟鋼板および, 同一板厚の亜鉛鉄板を対象として, 接触抵抗を測定してみると Fig. 1 のようになる。これらを見ても明らかなように, 亜鉛鉄板のときは軟鋼と比較して $\frac{1}{10}$ くらいに低下している。これは軟鋼表面にメッキされている亜鉛の軟かいためであって, 電極チップを衝撃的に下降させて接触抵抗を測定した場合に

* 原稿受付, 昭和38年7月12日(昭和38年度溶接学会春季全国大会において発表)

** 正 員, KK 電元社製作所 Member, Dengensha mfg. Co. Ltd.

Fig. 1 Contact resistance of galvanized sheet and mild steel

は、その差はさらに顕著になる。図中静加圧は電極チップ間に材料をはさみ、徐々に加圧力を増していった場合であり、動的加圧は普通に点溶接するときのように、チップ間隔を 15 mm くらいにしておき、ストンと衝撃的に下降させたものである。加圧力を増してゆき、次いで加圧力を減少させてゆくと、加圧力を増したときと同じ曲線を描かず、変形のため低い接触抵抗値を示す。

2.2 メッキの溶融点の低いこと

軟鋼 1.0 mm と同一板厚の亜鉛鉄板と同一条件で溶接

Fig. 2 Welding current and voltage on galvanized sheet and mild steel

Fig. 3 Current distribution between tips

し、その電流、チップ間電圧、チップ・板間電圧、板間電圧を記録してみると Fig. 2 に示ようになる。とくに注目しなければならぬのは板間電圧であって、軟鋼の場合高い所で 0.49 V あるのに対して、亜鉛鉄板の場合はその $\frac{1}{3}$ くらい 0.17 V である。電流は両者とも同一 (9400 A) 流れているのに、板間電圧が低いということは電流の流れる断面積が大きいとと考えられる。すなわち亜鉛メッキの亜鉛は、 420°C くらいという低温において溶けるため、軟鋼の場合電流は Fig. 3(a) のように流れるべきものが亜鉛鉄板のときは亜鉛が溶けて広がるために、電流分布は Fig. 3(b) のようになり (電流のフリジングする程度 ϕ は同一と考える)、溶接部の電流密度は小さくなって、溶接が困難になるものと思われる。これは巨視的に考えて断面積が増したことになるが、微視的に見ても、接触抵抗の項からも解るように、見掛上同一接触面中の実接触面積が大であり、この点からも電流密度が低下し、板間電圧が低く現われるはずである。Fig. 4 は電流 5000 A、通電時間 10 サイクル、板厚 0.6 mm の軟鋼、亜鉛鉄板、片面のみ亜鉛メッキ板、ハンダ・メッキ板につき加圧力を変えてそのナゲットのでき具合を調べたものである。軟鋼の表面に薄くハンダを流したものはナゲットができにくくなっている。電流分布に関しては今まで板間についてのみ述べているが、チップと材料との間に関しても言えることで、チップの当る面に亜鉛があれば亜鉛は溶けて巨視的にも微視的にも電流分布は広くなり電流密度は下る。このために片面のみ亜鉛メッキしたものと、両面亜鉛メッキしたものとではこの図より明らかなように後者の方がナゲットができにくくなる。ハンダを表面に塗布するとナゲットができにくくなるのは明らかにハンダが溶けて通電面積が増加し、電流密度が低下するためであるが、この実験ではハンダの厚みは亜鉛メッキの厚さよりも薄いので、その低下の割合は少ない。以上の点かわかるようにメッキが

Fig. 4 Relation between nugget size and electrode force on variable coated plates

あるとき、このメッキが低溶融点の場合に、そしてそのような場合には同時に軟かいということも手伝って、巨視的にも微視的にも通電面積が増大し、電流密度が低下して発熱が減少し、ナゲットができにくくなることが明らかである。しかしながらここに注意すべきはメッキの厚みであって、上述の理論から言えばカドミウム・メッキが最も溶接が難しいことになるが、これにはメッキの厚みが大きく影響している。一般に言ってアルミニウム、亜鉛メッキなどは 0.015~0.02 mm であるのに対してカドミウム・メッキや錫メッキは 0.0015~0.005 mm である。したがって、このように薄いフィルムは加圧力によって、微視的にも巨視的にも、電流密度に影響をあたえるほど歪められないと考えられる。この点アルミニウムとか、亜鉛メッキは、メッキが厚いためナゲットの周辺に滞留し、電流はこの溶けた亜鉛層を流れて電流密度を小さくしてしまう。これが亜鉛メッキ板の溶接が困難な最大の理由である。このように考えればクロム、ニッケルなどのメッキは溶融点も高く、硬さも大でメッキの厚さも薄いので溶接が容易なことが簡単に理解される。

3. 実験結果

3.1 使用溶接機

実験に使用した板厚は 0.4 mm, 0.6 mm, 1.0 mm, 1.6 mm で、溶接機は小電流、低加圧力の溶接条件のときには JIS 1 形(定格入力 15 kVA, 最大入力 35 kVA)を用いて、大電流高加圧力の条件に対しては最大入力 200 kVA の実験用溶接機を使用している。JIS 1 形の溶接機でも加圧力は 70 kg 以下になると不安定になるので、このような場合には Fig. 5 のような荷重はスプリング力によるローイナシャーホルダを用いた。このホルダによ

Fig. 5 Low inertia electrode holder (Spring loaded electrode holder)

Fig. 6 Welding condition of galvanized sheet 0.4 mm t

ば、低い加圧力でも正確に得られるとともに、電極の即応性も非常によくする。

3.2 溶接条件

亜鉛鉄板の溶接の場合、一般には板厚がある限度より薄くなると大電流が使用されることが多い。しかしながら加圧力さえ適正な条件をえらべば、低い電流で溶接は可能である。Fig. 6 は 0.4 mm の亜鉛鉄板を溶接し、同一ナゲットを作るに必要な電流も加圧力との関係を調べたもので、通電時間 40 サイクルでナゲット径 2.8 mmφ, 30 サイクルで 3 mmφ, 10 サイクルで 4 mmφ のナゲットを作るに必要な関係を示したもので、加圧力さえ低ければ、低い電流でナゲットを作ることが可能なことを示している。したがって溶接条件としては大電流、高加圧力でも、小電流低加圧力でもよいわけであるが、今までの文献が大電流、高加圧力を採用しているの、比較のためにこのような条件も試験したのであるが、このような高条件のものを用いなくとも、実用的には低溶接条件で十分溶接が可能ながわかる。

3.3 電極チップ材

電極チップ材としてクラス 1 に相当するカドミウム銅

Fig. 7 Comparison of weld strength with Cr copper and Cd Copper

Table 1 Physical properties of electrode tip materials

	Electrical conductivity IACS %	Hardness H _{RB}		
		20°C	300°C	500°C
Cd copper	90	75	40	—
Cr copper	85	85	65	25
Zr copper	73	80	70	45

と、クラス 2 に相当するクロム銅、ジルコニウム銅が考えられる。この 3 者の物理的性質は Table 1 に示すごとくである。カドミウム銅とクロム銅を比較した実験結果は Fig. 7 に示す。クロム銅、カドミウム銅はともに 16 mmφ で先端半径 50 mm の R 形チップを用い、溶接条件は板厚 1.0 mm に対しては 7250 A, 30 kg, 14 サイクル、0.6 mm のものに対しては 6500 A, 11 kg, 10 サイクル、0.4 mm に対しては 5500 A, 8 kg, 8 サイクルで行なったものである。いずれの場合も、溶接の初めは大体同一強さを示し、ナゲットの大きさも同じであるが、溶接打点数が増すにつれて亜鉛のピック・アップのために強さは減少する。しかし、クロム銅に比較してカドミウム銅のほうが低下は従来の文献と異なりはげしい。薄板では確実なナゲットができさえすれば、引張強さが大きくないことはそう問題ではないが、亜鉛鉄板の場合に最も困ることは溶接の進行につれてナゲットが全然できなくなることである。確実なナゲットを形成せず、単に圧着されたような状態のものでも引張強さはある値を示すものであるが、ナゲットのできていないものは衝撃とか、振動に対して極めて低い強さを示すので、十分注意しなければならない。実験値はいずれも 10 本のテスト・ピースの平均値を示したものであるが、(溶接点数と引張強さとの関係は特にことわらない限り、他の項においても 10 本の平均値を示す) 図中点線で示してある所は 10 本のうち、2 本以上が全然ナゲットを作っていないことを示している。ジルコニウム銅に関しては、亜鉛鉄板の溶接には最適で、亜鉛のピック・アップはクロム銅に比較して 30~50% 少ないと言われているので、その真偽をたしかめるために、Table 2 のような 3 種の溶接条件で 500 点溶接し、その途中 5, 20, 60, 150, 300 点目にそのピック・アップ状態を調べてみたが、いずれの

Table 2 Welding conditions used in pick-up test

Condition	Current (A)	Electrode force (kg)	at 50~
			Weld time (s)
I	12700	250	8
II	7800	50	8
III	7300	30	8

溶接条件の場合でもほとんど差はなかった。溶接条件を同一にするためにチップはジルコニウム銅、クロム銅を一对の電極として使用し、クロム銅チップを上にしたときはジルコニウム銅を下に、ジルコニウム銅を上にしたときはクロム銅を下にしてそれぞれ同一条件で 4 本ずつ行なったものである。ジルコニウム銅とクロム銅との比較は亜鉛のピック・アップについてのみ行ない、溶接点数と溶接強度との関係は調べていない。

3.4 電極チップの形状

電極チップの形状としてはいろいろのタイプのものが考えられるが、チップの変形が少ないものとしては Fig. 8 のような R 形 (ラヂアス形) と C 形 (截頭円錐形) がよいと思われるので、この 2 種のものについて実験した。1.0 mm と 0.6 mm と 2 種の板厚について溶接点数と強さとの関係を示せば Fig. 9 のようになる (3.3 項において説明したように図中点線で示した所はナゲットの生成が不十分であった所である。) この結果からわかるように R 形と C 形とではあまり明りような差は出ていない。

Fig. 8 Style of electrode tip face **Fig. 9** Comparison of weld strength with styles of electrode tip face

3.5 高級溶接条件と低級溶接条件の比較

3.1 項によって大電流、短時間でも、小電流、長時間でも条件さえ適当にえらべば同一ナゲットを作ることができることがわかった。そこで各板厚につき A, B, C の条件を選定してみた。これは単に 3 種の条件を選定したということで軟鋼点溶接における RWMA の溶接条件の A, B, C のとは何ら関係はない。溶接条件は Table 3 に示す 3.3 項の実験結果溶接に使用するチップ材は

Table 3 Recommended welding conditions of galvanized sheet

Thickness (mm)	Welding condition at 50~			
		Current (A)	Force (kg)	Time (s)
0.4	A	11000	180	8
	C	5500	8	8
0.6	A	12000	350	10
	B	9500	100	10
	C	6500	15	10
1.0	A	13000	400	12
	B	11000	180	12
	C	7200	30	12
1.6	A	15000	600	15
	B	12000	280	15
	C	9400	80	15

Fig. 10 Relation between current and electrode force on A.B.C. welding conditions

クロム銅を使用することにし、3.4項の結果によってチップは16mmφ先端の形状は50RのR形のものを使用することに決めた。溶接にさいしては冷却水量、溶接速度によってチップの流度上昇が異なるので溶接結果に影響をおよぼすはずであるが、これを変化したときまで調べることはできなかったので、一応冷却水は2~3 l/min, 速度は30点/min というで行なったもので、このような溶接条件によって溶接打点数と引張強さとか、ナゲットの生成がどうかを調べてみた。A, B, C条件の電流に対する加圧力はFig. 10のように選んであり、A条件は加圧力は高く、C条件は非常に低く、B条件は大体その中間にくる。特にC条件の加圧力を低くえらんでるのが特長であるが、このような低加圧力条件でも溶接にさいして散りを生ずるようなことはない。ただし前述したように、このような低い加圧力の場合にはローイナシャホルダを使用している。溶接条件の選定に関して亜鉛鉄板の場合に注意しなければならないのは溶接打点数の進行につれて、ナゲットができずポロリとはく離することであって、小さくてもナゲットができておれば、あまり心配することはない。1.6mm, 1.0mm, 0.6mm, 0.4mmの各板厚のものにつきA, B, C条件で溶接してみた結果は、Fig. 11のようになり、ある打点数からはナゲットが生成しにくくなる。亜鉛のピックアップという点からだけでは、大電流・高加圧力溶接のほうがたしかによいが、ナゲットの生成という点からは、加圧力の低いほうがよいということになり、A,

Fig. 11 Comparison of weld strength with A.B.C. welding conditions

B, C いずれの溶接条件がよいかは、一概に言うことはできない。この実験結果からは、ある板厚に対してはA条件がよく、また他の板厚に対してはC条件がよいというようなバラバラのデータがでていますが、いずれにしてもC条件のような低級な条件でも、十分要求を満たすことができることを示している。たとえ適正溶接条件がえられても、1000点~2000点くらいでナゲットの生成しないものができるので適当な時期に電極チップのドレッシングが必要である。

4. 結 論

亜鉛鉄板の溶接条件として巷間流布されているものより、はるかに低級な条件を選定することは可能であって、亜鉛鉄板の溶接のために、特別に大容量の溶接機を使用する必要はない。そして溶接結果においても、大容量溶接機によるもので比較して、そのバラツキ、ナゲットの生成傾向、引張強さにおいて、何ら異なるところはない。しかし亜鉛鉄板の溶接においては、どのような溶接条件を選定しても、亜鉛のピックアップのために溶接打点数とともにナゲットを生成しないようになるので、大体1000点溶接すればドレッシングするようになったほうがよい。

参 考 文 献

- 1) RWMA 刊行, Resistance Welding Manual
- 2) 小寺正晴 “亜鉛引鉄板の点溶接”, 溶接学会誌, Vol. 24 (1955) No. 8, 9
- 3) Horace. F. Greer, M.L. Begeman, “Resistance Seam Welding of Terne Plate”, W.J., Vol. 39 (1960), P. 247 S~P. 254 S
- 4) C.W. Volek, M.L. Begeman, “Resistance Seam Welding of Zinc coated Sheet Steel”, W.J., Vol. 38 (1959) P. 113 S~P. 121 S
- 5) C.W. Boecker, M.L. Begeman, “Resistance Seam Welding of Aluminized Steel”, W.J., Vol. 41 (1962) P. 215 S~P. 220 S
- 6) Norman. A. Frytag, Jhon. J. Machinney, “Investigation of Resistance Spot Welding Galvanized Steel as applied in the Automotive Industry”, IIW 文献 III-171-62