
電気亜鉛メッキ鋼板リバージンクのシリーズスポット溶接性について

Series Spot-Weldability of RIVER ZINC Electrolytic Zinc-coated Steel Sheet

津村 嵩一(Koichi Tsumura)

要旨：

亜鉛メッキ量 20g/m² 以下のリバージンクのシリーズスポット溶接の最適条件を、板厚 0.6mm と 0.8mm を組み合わせた場合について調べ、冷延鋼板と比較した。通電時間 2 sec のとき、リバージンク・冷延鋼板とも溶接電流 10.1kA、加圧力 200kg が最適であった。加圧力を増すと溶接電流も増加させる必要があり、両者の間には一定の関係が認められた。材質別の溶接のしやすさはリバージンク（オイリング）＞冷延鋼板＞リバージンク（磷酸塩処理）の順であった。150 回の連続溶接作業を行なっても溶接点強度の変化は認められなかった。

Synopsis：

Series spot-weldability for RIVER ZINC of which an amount of coating of zinc is less than 20g/m² and thickness is 0.6mm and 0.8mm is investigated and compared with that for cold rolled steel sheet. The most suitable welding condition for RIVER ZINC coincides with that for cold rolled steel sheet, as summarized in the following: 2 sec (120 cycle) for heating time, 10.1 kA for welding current, and 200kg for pressure of an electrode tip. As the pressure of a tip increases, welding current must also be increased, that is, a relation is observed between them. The order of easiness for spot-welding is RIVER ZINC (oiling)>cold rolled steel sheet> RIVER ZINC (phosphate treatment). After a welding work of 150 times using the same electrode tip, any change of strength of welded spots is not observed.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

電気亜鉛メッキ鋼板 リバージンク のシリーズスポット 溶接性について

Series Spot-Weldability of **RIVER ZINC** Electrolytic Zinc-coated
Steel Sheet

津 村 嵩 一*

Koichi Tsumura

Synopsis:

Series spot-weldability for **RIVER ZINC** of which an amount of coating of zinc is less than 20g/m^2 and thickness is 0.6mm and 0.8mm is investigated and compared with that for cold rolled steel sheet. The most suitable welding condition for **RIVER ZINC** coincides with that for cold rolled steel sheet, as summarized in the following: 2sec (120 cycle) for heating time, 10.1 kA for welding current, and 200kg for pressure of an electrode tip. As the pressure of a tip increases, welding current must also be increased, that is, a relation is observed between them. The order of easiness for spot-welding is **RIVER ZINC** (oiling) > cold rolled steel sheet > **RIVER ZINC** (phosphate treatment). After a welding work of 150 times using the same electrode tip, any change of strength of welded spots is not observed.

1. ま え が き

スポット溶接の方式には周知のとおり、1組の溶接用電極（チップ）が被溶接物を両側からはさんで通電するシングルスロット溶接と、バックバーとよばれる治具兼用電極の上に被溶接物を重ねて載せ、2個のチップを同じ側から押しつけて通電するシリーズスポット溶接の2通りの方法がある。さらにシリーズスポット溶接機のチップの組の数を増やしたものはマルチスポット溶接機とよばれ、①作業速度が大きい、②同時に多数の点をクランプするので溶接変形が少ない、などの特長があるので自動車工業や家庭電気器具製造業などで広く利用されている。

一方当社の電気亜鉛メッキ鋼板リバージンクは

その優秀な耐食性・溶接性・塗装性に加えて原板のもつすぐれた加工性がそのまま生かされていることにより、これら諸産業の間にも使用が普及している。しかしながらそのスポット溶接性について発表されているデータは現在はシングルスロット溶接に関するもののみである¹⁾。上述のように実用面ではシリーズスポット溶接の方がむしろ重要であると考えられるので、これに関するデータの充実のために以下に述べる実験を行なった。

2. 実 験 方 法

2.1 実験方法の概要

試材を種々の条件で溶接し、これを引張り試験機にかけて溶接点の破断強度（溶接点強度）を求

* 技術研究所水島研究室主任研究員

め、これに破断状況もあわせ考えて最適溶接条件を決定する。さらにこのようにして求めた最適溶接条件によって、連続的に多数の溶接作業を行なったときの溶接点強度の変化の有無を調べる。

2.2 溶 接 機

使用した溶接機は現場ラインに設置されている大電製SSⅡ型マルチスポット溶接機である。溶接チップは2組計4個あるが、本実験ではその中の1組の電源を外して残りの1組のみを使用した。表1に溶接電流調整用ノッチの各番号にたいする変圧器の巻線比および短絡状態（被溶接材を入れない状態）での二次電流値を示す。この二次

電流の値は一次側電流を測定し、これに変圧器の巻線比を乗じて求めた。

2.3 供 試 材

表2に供試材の明細を示す。リバージシートは磷酸塩処理材とオイリング材を用い、冷延鋼板と比較した。板厚は0.6 mmと0.8 mmの組み合わせとした。したがって表2で、BとC、EとF、GとH、JとKをそれぞれ組み合わせて用いた。試材はいずれもL方向100 mm、C方向125 mmに切って用いた。

2.4 溶 接 条 件

用いた溶接条件は下記のとおりである。

- (1) 初期加圧時間：0.4 sec (24サイクル)
- (2) 通電時間：1.4 sec (84 サイクル), 2 sec (120サイクル)
- (3) 通電後保持時間：1.1 sec (66サイクル)
- (4) 溶接電流調整ノッチ番号：3, 4, 5 (実際の溶接電流との関係は3・2に述べる)
- (5) 溶接チップ加圧力付加用エア圧力計：2.8 kg/cm², 4.0 kg/cm² (実際の加圧力との関係は3・1に述べる)

表 1 溶接機の巻線比と二次電流測定値

溶接電流調整用ノッチ番号	巻線比 N_1/N_2	短絡状態での二次電流 (kA)
1	17	19.0
2	20	16.4
3	24	13.9
4	30	11.2
5	41	8.8
6	60	5.5

表 2 供 試 材 の 明 細

試材 符号	試材種別	記 号	実測 板厚 (mm)	亜鉛 メッキ量 (g/m ²)	磷酸塩 付着量 (片面) (g/m ²)	原板化学成分 (wt %)					備 考
						C	Si	Mn	P	S	
{ B C	リバージシート (磷酸塩処理)	SECC-M-B	0.58	24.7/24.1	2.94	0.047	<0.01	0.15	0.016	0.019	
	"		0.76	21.6/20.4	2.11	0.060	<0.01	0.17	0.016	0.028	
{ E F	冷延鋼板	SPCC	0.58	—	—	0.050	<0.01	0.17	0.012	0.023	比較材
	"		0.86	—	—	0.048	<0.01	0.14	0.008	0.016	
{ G H	リバージシート (オイリング)	SECC-O-O	0.6	22.2/22.2	—	0.026	0.02	0.17	0.015	0.012	
	"		0.8	21.4/21.4	—	0.021	0.02	0.16	0.010	0.009	
{ J K	リバージシート (磷酸塩処理)	SECC-O-B	0.59	20.1/20.2	3.06	—	—	—	—	—	連続溶接 作業時の 溶接強度 調査用
	"		0.81	20.9/23.9	3.04	—	—	—	—	—	

- (6) 溶接チップの形状：図1参照
 (7) 溶接チップ中心線の間隔：100 mm

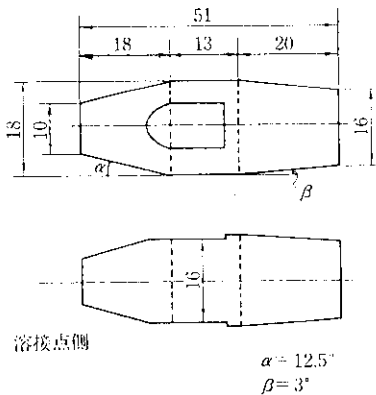


図1 溶接チップの形状

2.5 試材の配置と引張り試験用試験片の採取

本実験に用いた溶接機は通電の組となっているチップがラインに平行に配置されているので、後で引張り試験を行なうことを考慮して、試材は図2に示すように原板のL方向がラインと直交するように置いた。2箇所の溶接点はE、Wの記号で区別する。(それぞれ東側、西側の意味である。) また、薄い方(厚さ 0.6 mm)の板がチップ側になるようにしたが、これはシリーズスポット溶接では避けられない無効電流を少しでも少なくするために行なわれる配慮である。溶接を行なったのち、図2の鎖線に沿って剪断し溶接点を含む部分を引張り試験に供した。

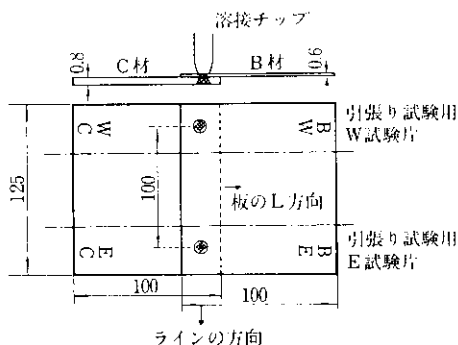


図2 試材の配置と引張り試験用試験片の採取 (B, C材での例)

3. 実験結果

3.1 加圧力の実測値

予備実験での溶接作業時の状況や溶接点強度などからE、W各チップの加圧力に差があるように思われたので、挺子とばねばかりを用いて各チップの加圧力を実測したところ表3のような結果を得た。このため以後は溶接チップE、Wやエア圧力計指示値の代りにこの表にもとづいた加圧力によって溶接条件を表示することとする。

表3 加圧力の実測結果 (単位 kg)

エア圧力計指示値 (無作動時) (kg/cm ²)	溶 接 チ ャ ッ プ	
	東 側	西 側
2.8	161	202
4.0	263	404

3.2 溶接電流の実測値

溶接電流は短絡状態のときと同様、変圧器の一次側電流に巻線比を乗じて求めた。その結果を図3に、また、測定結果の平均値を表4にそれぞれ

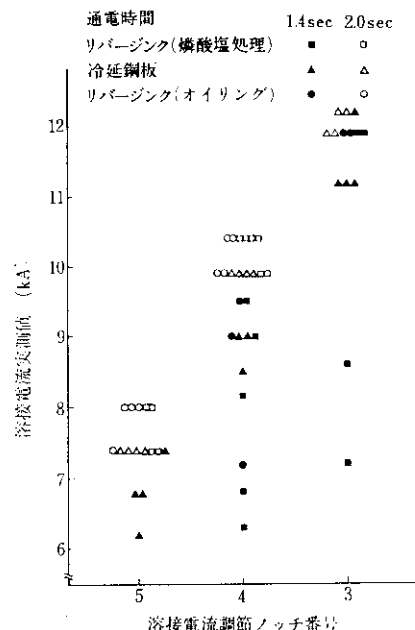


図3 溶接電流測定結果

れ示す。

図3によれば試材の種類(磷酸塩処理およびオイリングの各リバーシシットおよび冷延鋼板)による溶接電流の差異は認められない。しかし通電時間 1.4 sec のときには溶接電流が著しく下方にバ

ラついているが、このように過小な溶接電流値を記録した試験片でもその溶接点強度は一応良好な成績を示しているので、通電時間 1.4 sec のときの電流計の指示に異常があったのではないかという疑問が残るが、その原因は不明である。通電時間 2.0 sec のときの溶接電流測定値は再現性もよく、かつ短絡時の二次電流値(表1)よりわずかに小さい値となっており、信頼できるものと思われるので、以後通電時間 2.0 sec のときの平均溶接電流値をもって溶接条件を表示することとする。

表 4 溶接電流測定結果の平均値 (単位 kA)

通電時間 (sec)	電 流 調 整 ノ ッ チ 番 号		
	5	4	3
1.4	6.8 (4)	8.3 (11)	11.1 (10)
2.0	7.7 (12)	10.1 (14)	12.0 (4)

注 () 内は平均をとったデータの数

3.3 溶接条件と溶接点強度および溶接部の状況との関係

各溶接条件にたいする溶接点強度測定結果と溶接部の破断状況を表5に示す。

表 5 リバーシシットのシリーズスポット溶接点強度試験結果と破断状況

加 圧 力 (kg)	通電時間 (sec)	リバーシシット (磷酸塩処理) (B, C)			冷 延 鋼 板 (E, F)			リバーシシット (オイリング) (G, H)		
		溶 接 電 流 (kA)			溶 接 電 流 (kA)			溶 接 電 流 (kA)		
		7.7	10.1	12.0	7.7	10.1	12.0	7.7	10.1	12.0
404	2.0	X	29 c	—	X	121 c	314 b	X	153 c	—
		X	20 c	—	X	81 c	390 c	X	122 c	—
	1.4	—	70 c	132 c	X	273 c	347 b	—	161 c	364 c
		—	60 c	235 c	X	365 a	297 b	—	273 c	341 c
263	2.0	X	294 b	—	X	174 c	292 b	301 c	382 a	—
		X	92 c	—	X	188 c	— e	298 c	370 a	—
	1.4	—	296 b	381 a	55 c	256 b	399 a	—	333 c	424 a
		—	289 c	369 a	X	257 b	408 a	—	360 c	417 a
202	2.0	18 c	391 a	—	44 c	364 a	363 a	222 c	390 a	—
		20 c	345 a	—	35 c	356 a	416 a	272 c	376 a	—
	1.4	—	372 a	384 a	80 c	318 a	380 a	—	393 a	—
		—	322 a	264 c	102 c	370 a	399 a	—	294 a	—
161	2.0	260 b	339 a	131 d	147 c	362 a	402 a	298 c	378 a	—
		242 c	350 a	422 a	74 c	384 a	407 a	292 c	384 a	—
	1.4	—	383 a	78 d	275 b	50 d	414 a	—	393 a	—
		—	270 a	352 d	267 b	421 a	412 a	—	288 a	—

注 1 溶接点強度の単位は kg

注 2 溶接部の破断状況をあらわす記号の説明

a : 溶接点強度良好でその周辺部(二番)から切断したもの

b : a と c の中間的なもの

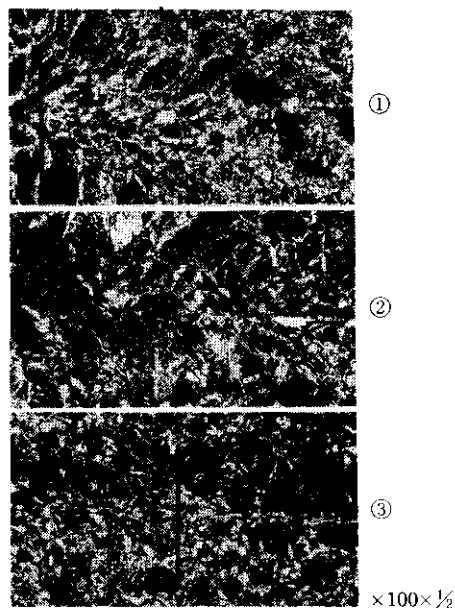
c : 溶接点で剝離するように破断したもの

d : 溶け落ちて溶接部に穴があいたり、溶接点強度が低下したりしたもの

e : 溶接点スポットが試材の縁にかかって、接着不良となったもの

X : 試験片採取のための剪断時の衝撃で、引張り試験前にすでに離れていたもの

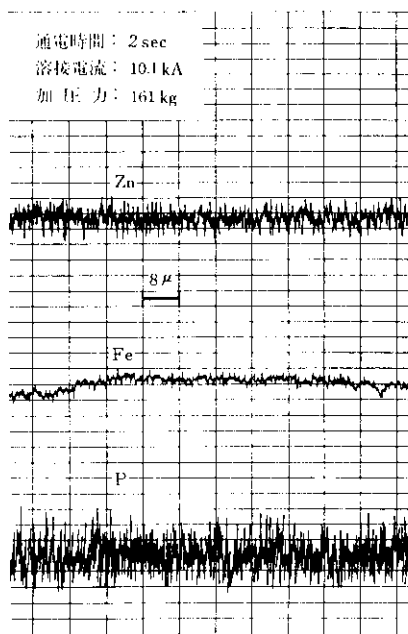
磷酸塩処理のリバージnkは溶接電流10.1kA、通電時間120サイクル(2sec)、加圧力200kgの溶接条件で最もよく溶接できる。ほかの試材の最適溶接条件もこれとほぼ同じである。溶接電流が7.7kAでは不足である。加圧力を増すと溶接点強度は低下し、これを維持するためには溶接電流を増す必要がある。また、溶接電流に比べて加圧力が不足していると、チップの溶着・表面の肌荒れを生じ溶接部が溶け落ちて強度が著しく低下することがあり溶接状況の再現性が低下する。写真1はB、C材の各加圧力にたいする溶接部断面の顕微鏡写真であり、図4は写真1に表示された部分のXMAによるZn、Fe、Pのラインアナリシスの結果を示す。加圧力が大きすぎると発熱があるにもかかわらず接触部はまったく溶融していないことがわかる。写真2は溶接状況の良好な(表5のaランク)試験片と溶け落ちを生じた(表5のdランク)ものの破断状況を比較したもので、d



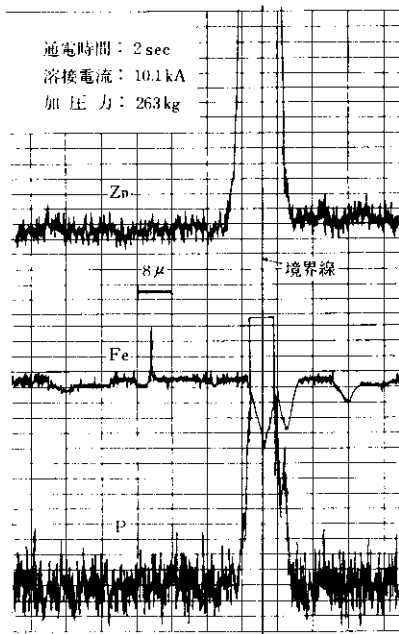
No.	加 圧 力 (kg)	通電時間(sec)	溶接電流 (kA)
①	161	2.0	10.1
②	202	2.0	10.1
③	263	2.0	10.1

(注) 黒線は図4のラインアナリシスを行なった場所を示す。

写真1 溶接部断面の顕微鏡写真(リバージnk、磷酸塩処理材)



(a) 完全溶接の場合



(b) 加圧力過大による不完全溶接の場合

図4 溶接部(リバージnk、磷酸塩処理材)のZn、Fe、P分布状況

ランクのものは溶接部の表面がかなり荒れているのが認められる。

溶接条件と溶接点強度との関係は、用いた3種類の試材のいずれも大体同じ傾向であったが、最適条件許容範囲の広さ、すなわち溶接作業のしやすさはおおむね

リバージング（オイリング）＞冷延鋼板＞リバージング（磷酸塩処理）

の順であった。

3・4 連続溶接作業時の溶接点強度

上述の実験で良好な結果が得られた下記の溶接

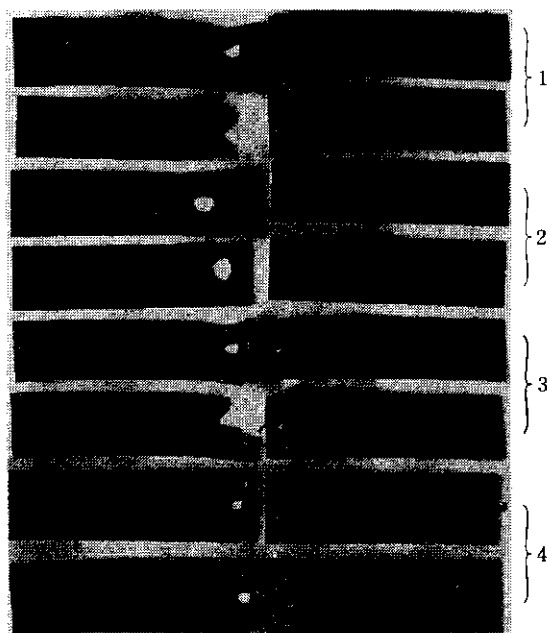
条件（ただし加圧力については装置の再現性が悪くて目標値から若干外れたものがある）により、試材はJ, K, 溶接チップは新品を用いて連続150回の溶接作業を行ない、溶接チップの表面状態の変化が溶接点強度におよぼす影響の有無を調べた。

(1) 通電時間：2 sec (120 サイクル)

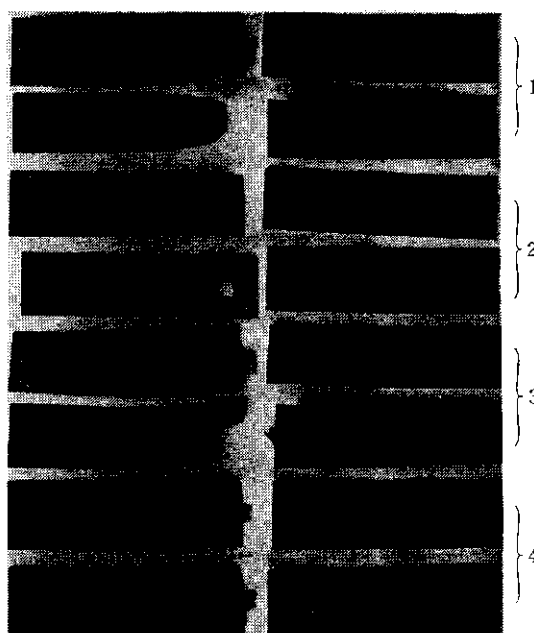
(2) 溶接電流：10.1 kA

(3) 加圧力：目標 161 kg, 202 kg
実測 164 kg, 172 kg

(4) そのほかの諸条件：2・4 記載の値に同じ
その結果を図5に、また作業前後のチップの状



(a) チップ側の面



(b) (a)の反対面すなわちバックバー側の面

No.	試 材	加 圧 力 (kg)	通電時間 (sec)	溶接電流 (kA)	破断状況 のランク
1	B, C	263	1.4	12.0	a
2	"	161	"	"	d
3	"	161	2.0	10.1	a
4	"	202	"	"	a

写真 2 溶接部の破断状況

態を写真3にそれぞれ示す。この実験結果からはチップの表面状態の変化が溶接点強度におよぼす影響は認められない。ただこの実験では加圧力が220kgの目標より少なすぎたので3・3に述べたように溶接点強度の再現性が低下しており、バラツキが大きくなった。

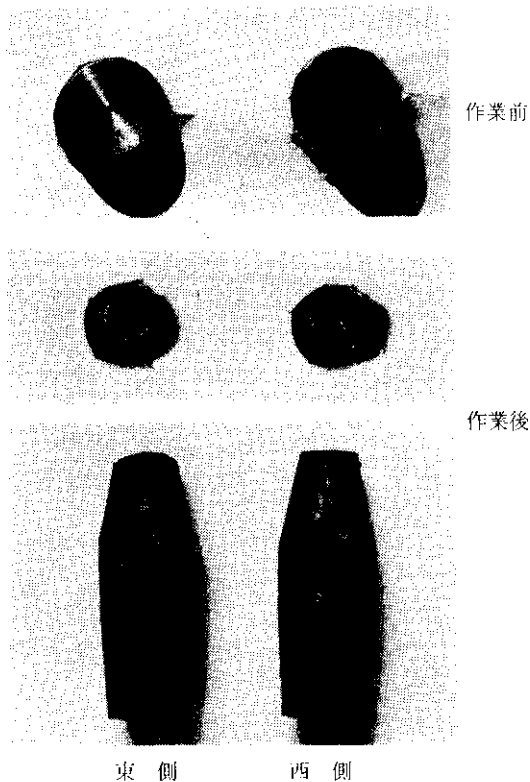


写真3 150回の連続溶接作業前後のチップの状況

4. 実験結果の検討

スポット溶接においては、被溶接物相互の接触抵抗が以後の溶接過程に重要な役割を果たすが、この接触抵抗の値は再現性に欠けるので以後の溶接過程を理論的に取扱うことは困難であり、このためスポット溶接に関する理論の水準は実験に比べてはるかに遅れているのが現状である。したがって以下では実用上の要請から経験的に蓄積された知識を参照しながら定性的な検討を行なうこととする。

一定の板厚の組み合わせにたいして溶接成績を最も大きく左右する因子は溶接電流、通電時間、加圧力の3個であって、これをスポット溶接の3大要素と称している。今回の実験では溶接機の性能上、通電時間についてはその選択の余地が限定されていたので、残りの溶接電流と加圧力の影響の検討がおもな課題となった。

すでに表3の結果から、同一溶接電流にたいして加圧力が大きすぎると溶接成績が悪く、溶接電流が大きくなればそれに伴って適正加圧力範囲の上限も上昇することが認められているが、この事実加圧力が大きすぎれば接触抵抗は小さく、したがって接触部における発熱量も減少するので、それだけ溶接電流を増大させなければならないという従来から言われてきた傾向と完全に一致する。リバーシングの場合、亜鉛は鉄に比べて軟かくまた、亜鉛の比抵抗は鉄の約半分であるから、

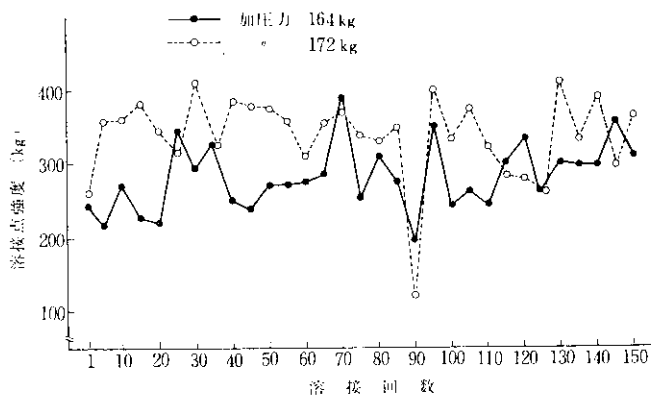


図5 連続溶接作業時の溶接点強度

加圧力が大きければ接触部や表面層よりも内部の鉄の部分での発熱の割合が大きくなるであろう。

写真1で加圧力263kgのものにもウイドマンステッチ組織が認められ、基板はオーステナイト域にまでは昇温したものと認められるがほとんど溶接されていない。すなわち溶接を完全に行なわせるには加圧力を減らして適当な接触抵抗を保持させる必要がある。逆に加圧力が不足のときに生ずる溶け落ち、肌荒れなどは接触抵抗が大きすぎて発熱量が過大であることが主因で、それに被溶接物の表面と溶接チップやバックパーとの接触が軽くて伝熱冷却の不十分さが加わっているかも知れない。リバージングの溶接点強度が加圧力に大きく影響されるのはこのような事情によるものと考えられる。

このように最適の加圧力と溶接電流との間にはある一定の関係があると推察される。事実軟鋼の場合には次のような実験式が推奨されている²⁾。

$$P = 2.75 \times I^2$$

ただし、

P : 加圧力 (kg)

I : 溶接電流 (kA)

溶接方式: シングルスポット溶接

板 厚: 0.4~10 mm

チップ径: 3~16 mm

通電時間: 5~340サイクル

今度の実験では溶接方式がこの実験式のそれと異なるので直接の比較はできないが、最適加圧力と溶接電流との相関性については首肯できるであろう。実際の溶接作業に当っては、その用途がたとえば冷蔵庫・クーラーの外板など外から直接見えるところである場合には、溶接部のバックパー側の汚れや損傷をできるだけ少なくするために、最少限の溶接電流で確実な溶接をするような配慮が必要である。

断面の元素分布について見ると、完全に溶接された図4(a)の場合は各元素の分布も均一であり問題はない。しかし加圧力が大きく溶接の不完全な図4(b)では各元素の分布は不均一のままである。このチャートでは亜鉛の分布は約13 μ であるがXMAの分析範囲のひろがり径約2 μ はあるので正味の分布域は約11 μ となる。もとの亜鉛メ

ッキ層の厚みは目付量20 g/m²のとき約2.8 μ であるから亜鉛は片側へ約2.7 μ 拡散したことになる。

亜鉛の濃度分布は

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

t : 時間

x : はじめの Fe-Zn 界面を原点とし Fe 側を+とした座標

D : 拡散係数 (一定と仮定する)

を所定の初期・境界条件のもとで解いて求められるが、今の場合拡散時間が短い(≒2 sec)ので c は近似的にはじめのメッキ厚みを無限大にしたときの解である Gauss 誤差曲線の積分型

$$c = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x/2\sqrt{Dt}} e^{-y^2} dy \right)$$

であらわすことができる。XMAによるFe中Znの検出限界は精密分析で0.00n%, ラインアナリシスで0.0n%程度であるが、ここでは中間をとって $c=0.01\%$ とし、また

$$D \approx 9 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{sec}^{31)}$$

$$t = 2 \text{ sec}$$

とすれば

$$x = 2.2\mu$$

となりまず妥当な値を得る。

次に被溶接材の種類の相異による影響について述べる。前述のように亜鉛鉄板には表面に柔かく溶融点の低い亜鉛層があるために接触抵抗が低下してスポット溶接性を害するといわれている。事実本実験で用いた亜鉛メッキ量20 g/m²のリバージング(磷酸塩処理)の最適溶接条件許容範囲の広さは冷延鋼板に比較して若干劣りはするが、実用上とくに問題とする程度のものでなく、またその最適溶接条件自体とそのときの溶接点強度は冷延鋼板のそれと同じである。したがって本実験にもとづいて推奨される溶接条件は亜鉛メッキ量20 g/m²以下のリバージング(磷酸塩処理)にも当然そのまま適用できる。一方オイリング材では、試材の数量に限りがあったためややデータ不足ではあるが、それでも溶接性は冷延鋼板よりむしろ良好であると認められる。これは油膜のため被溶接材同志の接触点が限定され、大きな接触抵抗や電流密度が得られるためと思われる。

連続的に多数の溶接作業を同一チップを用いて行なったときの溶接点強度の変化についてはさらに多数回のデータが要望されるであろうが、そのためにはユーザー側の協力も必要であろう。本実験では加圧力がやや少なかったため、写真3に示すようにチップ表面の荒れ方がやや早かった。したがって適正な溶接条件を用いれば、さらに多数回のスポット溶接を溶接点強度の低下なしに連続して行なうことは十分可能であろう。

なお、シリーズスポット溶接では溶接点を通らずチップ側の板を通過する無効電流が必ず存在する。この無効電流が全電流に占める割合は、被溶接材の厚みや表面状態、チップ間距離のほか一つのスポット溶接作業の間でも初期と終期とで相異し、これを常に確実に知ることは困難である。したがって本実験によって得た結果をシングルスポット溶接にそのまま流用することは適当でない。

5. ま と め

- (1) リバージंक（燐酸塩処理およびオイリン

グ、亜鉛メッキ量 20 g/m^2 以下）および冷延鋼板（板厚はいずれも 0.6 mm と 0.8 mm の組み合わせ）のシリーズスポット溶接点強度とその再現性はいずれも溶接電流 10.1 kA 、通電時間 2 sec (120 サイクル)、加圧力 200 kg のとき最も良好である。また、そのときの溶接点強度もいずれも同程度の値である。

- (2) 通電時間を一定としたとき最適の加圧力と溶接電流の間には一定の関係がある。実際の作業に当っては必要最低限の溶接電流で確実な溶接ができるような条件の選定が望ましい。

- (3) 溶接条件許容範囲の広さ、すなわち溶接のしやすさはおおむね
リバージंक（オイリング）＞冷延鋼板＞リバージंक（燐酸塩処理）
の順である。

- (4) 150 回の連続溶接作業を行なっても溶接点強度に変化は認められない。溶接条件が適正であれば、さらに多数回の作業を行ない得よう。

参 考 文 献

- 1) 当社カタログ、リバージंक（1970年11月）
- 2) 溶接便覧（溶接学会編）（1966），422，〔丸善〕
- 3) 吾妻，後藤，呉：日本鋳業会誌，89（1967）952，1011