

溶接可能塗装鋼板の溶接性，加工密着性 におよぼす塗膜中の添加金属粉末の種類 と含有量の影響

技術報告

岡 襄 二*・岩 倉 英 昭*²

Effects of Kind and Content of Metal Powders Contained in the Paint Film on Weldability and Formability of Weldable Paint Coated Steel Sheets

Joji OKA and Hideaki IWAKURA

Synopsis :

The effects of type, size and content of metal powders contained in the paint film on weldability, formability and corrosion performances of weldable prepainted steel sheets have been investigated.

Weldability is influenced by all of type, size and content of metal powders in the paint film. Weldability becomes better, as the size of metal powders becomes smaller and/or their content in the paint film becomes larger. The most significant effect is that the addition of hard metal powders such as steel and TiC into the paint film improves weldability to a great extent. Formability is only influenced by the content of metal powders in the paint film, resulting much inferior formability with larger content of metal powders in the paint film. Zinc powders contained in the paint film improve corrosion performances.

Based upon these results, the paint containing steel, zinc and aluminium powders has been formulated and its weldability and formability performances have been compared with the paint containing only zinc powders, changing the content of metal powders in the paint film. It shows that the paint containing 30% by volume in total of steel, zinc and aluminium powders has both much superior weldability and formability than the paint containing only zinc powders.

Key words : precoated product ; protective coating ; painting ; weldability ; corrosion resistance ; formability.

1. 緒 言

融雪塩による自動車車体の腐食を防止する目的で，亜鉛めつき鋼板，亜鉛合金めつき鋼板，塗装鋼板などの種々の表面処理鋼板が開発，実用化されている¹⁾。このように多くの表面処理鋼板が自動車メーカーにより，また部位により使い分けられている理由としては，自動車の腐食メカニズムがいまだ完全に解明しきれておらず，腐食促進試験における腐食と実際の腐食が必ずしも同様な腐食とならないため，耐久材料として何が最も適しているのかの判断が完全になされていないこと，開発された表面処理鋼板が性能面および価格面で一長一短があることなどの他，コストの問題もありそれぞれの自動車メーカーの防食理念が異なっているためと考えられる。

防食材料として塗装鋼板を考えると，有機塗膜は，そ

れ自体が腐食せず，腐食因子である酸素や水，イオンを遮断する効果があるので，塗膜が剥れたり傷付いたりせず健全であれば防食手段としては最も良い方法と考えられる。

自動車防錆用鋼板には，プレス成形に耐え，電気抵抗溶接ができ，かつ耐食性，塗装性がよいことが要求される。塗装鋼板は一般には塗膜が絶縁性であるため電気抵抗溶接ができない。そこで自動車防錆用塗装鋼板では塗膜中に金属粉を添加し，通電性を付与した塗料が使われる。最初に実用化されたのはジクロロメタルと呼ばれるもので亜鉛粉末を含有するクロメート液を冷延鋼板に約 2.5 μm 塗布，焼付けしたのち，亜鉛粉末を約 50 容量% 含有した塗料を約 10 μm 塗装したものであるが²⁾，プレス成形時に塗膜がパウダリングをおこし，これがプレス金型にビルドアップし，押疵の原因になるなどの問題が

昭和 61 年 8 月 29 日受付 (Received Aug. 29, 1986)

* 新日本製鉄(株)表面処理研究センター 工博 (Surface Treatment Research Lab., Nippon Steel Corp., 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

*² 新日本製鉄(株)表面処理研究センター (Surface Treatment Research Lab., Nippon Steel Corp.)

あつた。

本稿はこの問題を解決することを目的に、塗膜中に添加する導電性粉末の種類と量が塗膜の加工密着性、溶接性に及ぼす影響をしらべた結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 使用した原板

0.7 mm 厚さの冷延銅板 (SPCE 相当) および、これに 20 g/m^2 の亜鉛を連続電気亜鉛めつきラインでめつきた銅板を原板として適宜使用した。

冷延銅板は市販アルカリ脱脂 (日本パーカー (株) 製ファインクリーナー 4392) 液中で浸漬脱脂および湯洗したのち、りん酸鉄処理 (日本パーカー (株) 製ボンデライト 901, 皮膜量 0.1 g/m^2) をし、また電気亜鉛めつき銅板は市販の弱アルカリ脱脂 (日本パーカー (株) 製ファインクリーナー 359) 液中で浸漬脱脂および湯洗したのち、 $\text{CrO}_3/\text{SiO}_2$ ゾル= $\frac{1}{2}$ の水溶液をクロム付着量 10 mg/m^2 になるよう絞りロール装置で塗布し、 100°C で乾燥して塗装およびその後の性能評価に供した。

2.2 塗料および塗装方法

市販のコイルコーティング用エポキシ樹脂に各種の金属粉末および炭化物粉末を単独あるいは2種以上添加し試験用ペイントシェーカーでガラスビーズを併用して十分均一になるまで混練して塗料とした。金属粉末および炭化物粉末の添加量は全不揮発分に対し10容量%から60容量%の範囲で適宜変化させた。

塗料はバーコーターで塗装するのに適当な粘度に溶剤 (キシレン/メチルエチルケトン/セロソルブアセテート = 25/50/25) で希釈し、バーコーターを用いて $10 \mu\text{m}$ になるよう片面のみ塗装し、熱風焼付炉中で最高板温が 240°C (一部 220°C ないし 270°C) になるよう40 s で焼付け後、水冷し、試験に供した。

2.3 試験項目および方法

2.3.1 加工密着性

初期の偵察実験では円筒絞りを行つたが、それ以外はT折り曲げで加工密着性を調べた。

円筒絞り条件は次のとおりで、破断がおこらない場合は絞り込みするまで絞り、トリクレン脱脂、セロテープ剥離後塗膜の剥離状況を観察した。

ブランク径: $95.0 \text{ mm}\phi$

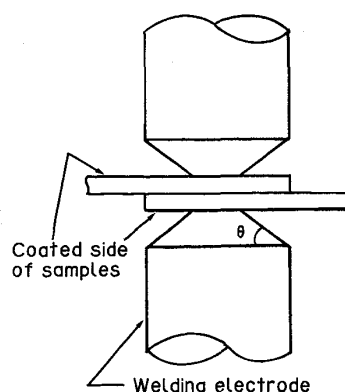
ポンチ径: $40.0 \text{ mm}\phi$

ダイ穴径: $42.0 \text{ mm}\phi$

しわ押え圧: 700 kg

潤滑油: ダイ面にのみプレス工作油 #620 を塗布

T折り曲げは JIS Z 5400 の 6.15 項 (耐屈曲性) に



Dia. of electrode tip: 4.2 mm (CF type) $\theta: 30^\circ$

Fig. 1. Shape of welding electrode and the method of welding.

規定された折り曲げバイスであらかじめU曲げたのち内側に n 枚の同一サンプルを挟み、ネコプレスを用いて衝撃的に押しつぶした。曲げR部分をセロテープ剥離して剥離状態を観察し、剥離を起こさない最小の挟み込み枚数をT折り曲げ限界値とした。

2.3.2 スポット溶接性

溶接性は溶接可能条件範囲と連続溶接性で評価したが偵察段階では2枚1組のクーポンを数組溶接し、溶接強度、ナゲットの形成状況から溶接性を定性的に評価した。

電極は Fig. 1 に示す形状の RWMA-Class 2 相当の銅-クロム合金を用い、Fig. 1 に示すように塗膜が電極側になるように2枚の板を重ね合わせてシングルスポット溶接を行つた。連続溶接試験は $20 \times 30 \text{ cm}$ の塗装板に約 5 mm 間隔でスポット溶接をつづけ、50点あるいは100点ごとにクーポンを溶接し、ナゲット径を測定した。溶接を続けるにしたがいしだいに電極が消耗し先端が大きくなるので電流密度が低下し、ナゲット径が小さくなってくる。ナゲット径が $4\sqrt{\text{板厚}}$ より小さくなるか、全くナゲットを形成しなくなつた場合、再度クーポンを溶接しナゲット径が $4\sqrt{\text{板厚}}$ より小さいか、ナゲットが形成されない場合、その時点を連続溶接打点数として評価した。

通電条件は次のとおり

初期加圧時間: 20 c (50 c/s)

通電時間: 10 c (50 c/s)

通電後保持時間: 40 c (50 c/s)

2.3.3 耐食性

塗装板から $5 \times 10 \text{ cm}$ のサンプルを切り出し、下半分に×印に傷つけ、端面と裏面を松やにと蜜ろうの混合物で溶融シールしたものを試験片とし、JIS Z 2731 に準拠し塩水噴霧試験した。

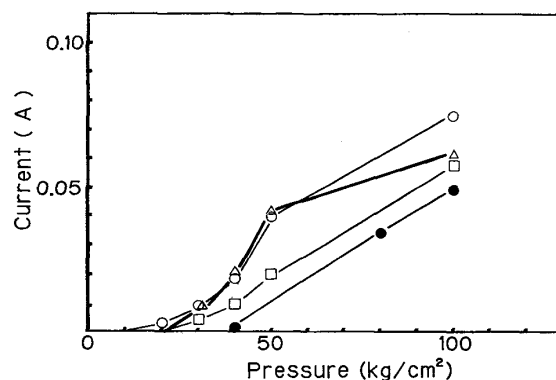
3. 実験結果および考察

3.1 金属粉の種類の効果

冷延鋼板に亜鉛のほか鉛、アルミニウム、鉄、ステンレス鋼の金属粉末（いずれも 100 メッシュ通過品）とグラファイト粉を 40 容量%エポキシ樹脂に添加した塗料を塗装した場合の溶接性を溶接強度、ナゲットの形成から定性的に調べた結果を Table 1 に示した。アルミニウム、亜鉛、鉛などの軟らかい金属粉やグラファイトに比べ、鉄やステンレス鋼などの硬質金属はナゲットが形成されやすく、したがって、溶接強度も得られやすいことがわかる。また、硬質金属粉末と軟質金属粉末を等容量ずつ合計 40 容量%混合した場合も硬質金属粉末単独の場合に近い溶接性を示すことがわかる。Fig. 2 に示すように亜鉛粉末だけを 30 容量%含む塗料とこの亜鉛粉末の約 20~40 容量%を置き換えた塗料とを 10 μm 塗装した鋼板を一对の電極で挟み、一定電圧をかけ挟みつけ圧力を増加しながら、電極間に流れる電流を測定すると亜鉛単独の塗膜では低加圧時には電流がほとんど流れないが硬質金属粉末である鉄粉末を含む塗膜では 20~40 kgf/cm^2 の低圧力で急激に電流が増加することから、これは次のように考えることができる。電気抵抗溶接では相対する一对の電極で溶接すべき一組の鋼板を数百 kg の圧力で挟みつける。このとき鋼板の表面に塗装されている塗膜は圧縮変形を受け、厚さが薄くなる。このとき塗膜中に添加されている金属粉末の変形を考えると、アルミニウムや亜鉛のように軟らかい金属粉末は塗膜全体と同様な圧縮変形を受ける。一方、鉄やステンレ

ス鋼のような硬質の金属粉末は容易には変形しない。この様子を模擬的に Fig. 3 に示す。

黒い粒子で示してあるのが軟質金属粉末で塗膜中では図の左側のように粒状の形状をもっている。溶接電極を圧下すると軟質金属粉末は軟らかいため変形して図の右側のように扁平状になる。一方、白い粒子で示してある硬質金属粉末は溶接電極を圧下してもほとんど変形しないため、塗膜厚が薄くなるためにはエポキシ樹脂を周辺に押しやるしかなく、その結果として、硬質金属粉末同



	Steel powder (ave. 8 μm)	Zn powder (ave. 4.4 μm)	Total
○	12.6 vol%	17.4 vol%	30 vol%
△	8.4 vol%	21.6 vol%	
□	5.7 vol%	24.3 vol%	
●	0 vol%	30.0 vol%	

Fig. 2 Change in current through paint film under constant voltage of 0.5 V with electrode pressure.

Table 1. Effect of the kind of metal powder in paint film on weldability.

	Graphite	Stainless steel	Zinc	Lead	Steel	Aluminium
Aluminium	—	◎~○	○~△	—	◎	○~△
Steel	◎	—	◎	◎	◎	
Lead	—	◎~○	—	○~△		
Zinc	—	—	○~△			
Stainless steel	◎~○	◎~○				
Graphite	○					

Welding condition: 200kg 6.5kA 10cycle
 Rating: ◎ High weld strength, less or no explosion
 ○ Medium weld strength, medium explosion
 △ Low weld strength, much explosion
 Content of powder: 40vol%

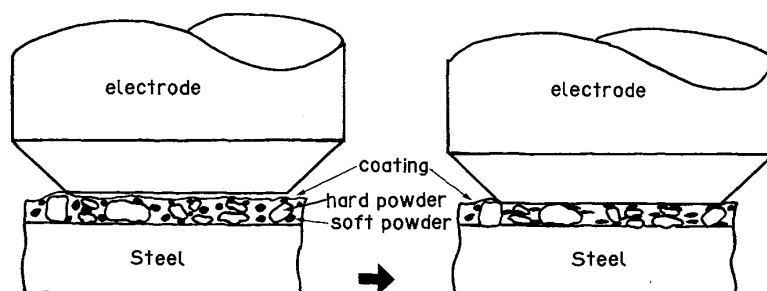


Fig. 3. Illustration for the deforming behavior of soft and hard powders in the paint under spot welding.

志、硬質金属粉末と軟質金属粉末との接触機会が増加し、電流の通じるパスが形成されやすくなる。これが硬質金属粉末を添加することにより溶接性が向上する機構である。

ジंकロメタルのように亜鉛粉末のみを含有する塗膜では、溶接電極を圧下しても亜鉛粉末は Fig. 3 の黒い粒子のように偏平状になるので、エポキシ樹脂を周辺に押しやる効果が少なく、偏平になつても亜鉛粒子間には依然としてエポキシ樹脂が存在するため電導性が上がらず、その結果として溶接性が良くない。ジंकロメタルでは亜鉛粉末の含有量を約 55 容量%と増加し、エポキシ樹脂の量を減少させることにより亜鉛粉末同志の接触機会を増し、溶接性の向上を計ろうとしている。球形粒子の最大充填容量%はランダム最密充填で 64%、立方充填で 52% とされているので³⁾ジंकロメタルの亜鉛粒子はほぼ直接接触しあっているものと考えられる。

塗膜には溶接性のほかに加工密着性や耐食性が要求されるので、耐食性に有効な亜鉛やアルミニウムを添加し、溶接性のよい硬質金属粉末を添加することで、全金属粉含有量を低減し、加工密着性レベルを高くするという塗料設計が考えられる。

軟質金属としてアルミニウム粉末を、硬質金属として鉄粉末を選び、それらの混合比と塗料中への添加量を変えた場合の溶接性と円筒絞りでの塗膜密着性を調べた結果をそれぞれ Fig. 4, Table 2 に示す。アルミニウム粉末単独系に比べ、アルミニウム粉末に鉄粉末を混合した方が溶接性が優れていることがわかる。最も効果的なのは鉄粉末の混合比が 75 容量%ないしは 50 容量%である。鉄・アルミニウム混合系が鉄粉末単独系に比べ溶接性が優れているのは、前記した鉄粉末が樹脂層をつき破る効果以外に導電率の高いアルミニウム粉末の添加によ

Table 2. Effects of mix ratio of aluminium and steel powders and their content in the paint on paint adhesion after cylindrical forming.

Mix ratio Content	Steel 100 Al 0	Steel 75 Al 25	Steel 50 Al 50	Steel 25 Al 75	Steel 0 Al 100
40%	—	△	—	○~△	—
30%	—	○~△	—	○~△	—
18.5%	—	○	—	○	—
9.5%	◎~○	◎	◎~○	◎~○	◎~○

◎ No ← Peeling → Medium △

る導電性の向上効果も寄与しているものと考えられる。また、粉末の合計含有量が多いほど溶接性が良くなる傾向がある。これは金属粉末含有量とともに金属粉末同志が直接接触する機会が増え、その結果として塗膜の導電性が増大するからと考えることができる。

一方、加工密着性は鉄粉末とアルミニウム粉末の混合比には無関係に粉末の合計含有量によつて決まり、溶接性と背反的に合計含有量が多いほど加工密着性は劣化する。これは粉末含有量が多くなるほど金属粉末のバインダーとなるべきエポキシ樹脂の量が少なくなり、バインダーとしての効果が低下し、加工によつて塗膜が粉末状に破壊（パウダリング）するためと考えられ、松尾らがジंकリッチプライマーの単離塗膜で破断伸びを調べた結果⁴⁾ともよく一致している。

3.2 粉末の粒度の効果

鉄粉末とアルミニウム粉末の混合添加塗料につき、鉄粉末の粒度と溶接性、塗装外観をしらべた結果を Fig. 5, 6 に示す。アルミニウム粉末はノンリーフィングの平均粒子 10 μm のものに固定した。Fig. 5 は鉄粉末とアルミニウム粉末の混合比を容量で 1:1 とし、金属粉末の全含有量の鉄粉末の粒度を変えたもので、溶接性の評価は 3.1 項と同様の方法により評価が○以上の範囲を溶接可能範囲として図示した。鉄粉末の平均粒度が 8 μm より細かい場合平滑な塗面となり、この上にメラミンアルキド塗料を 35 μm 塗装した外観は冷延鋼板に直接塗装したものと大差なかった。一方、溶接性は鉄粉末の粒度が細くなるにしたがい低下し、外観の良好な平均粒子径 8 μm や 2.5 μm の場合 40 容量%以上の添加でないと溶接ができない。Fig. 6 は鉄粉末を平均粒子径 2.5 μm に固定し、アルミニウム粉末と鉄粉末の混合比を 1:1 から 4:1 まで変えた場合の溶接性と塗膜外観を示す。溶接性はアルミニウム粉末混合比の多いものの方が若干良くなる傾向にあるが塗膜外観はアルミニウム粉末の混合比が少ないほどよい。

Fig. 7 は鉄粉末、アルミニウム粉末、亜鉛粉末をそれぞれ 8.1%、5.0%、8.9% および 12.2%、6.3%、13.6%

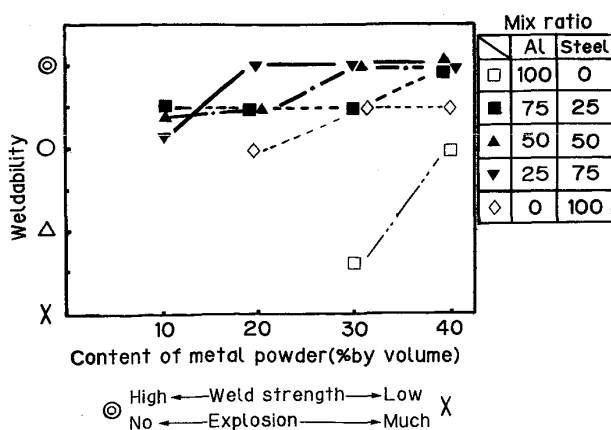


Fig. 4. Effect of mix ratio of aluminium and steel and their content in the paint on weldability.

(いずれも容量%) 含む塗料について鉄粉末の粒度を変えた時の溶接性を連続溶接点数で示したものである。この図からも鉄粉末の粒度が細くなると溶接性は低下することがわかる。合計で 32 容量% 金属粉末を含む塗料では平均粒子径 $8\mu\text{m}$ の鉄粉末を使つても 2000 点以上の連続溶接性を示し、前記した塗膜外観と合わせ考える

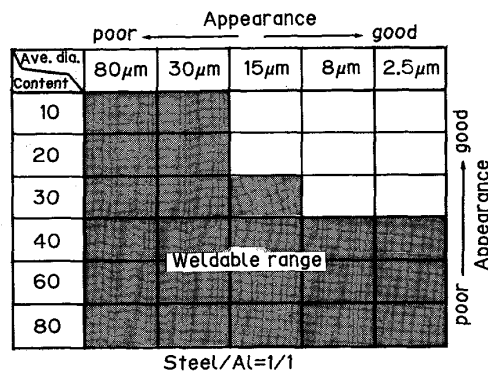


Fig. 5. Effects of size of iron steel powder and content of metal powders on weldability and surface appearance.

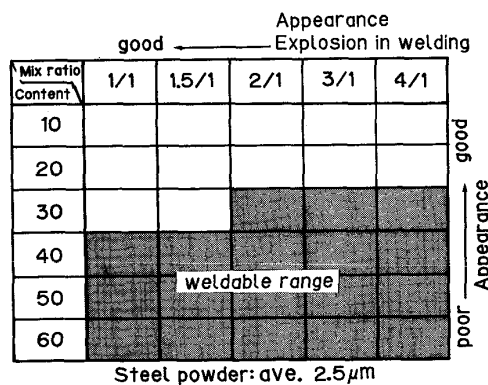


Fig. 6. Effect of aluminium/steel mix ratio on weldability and surface appearance.

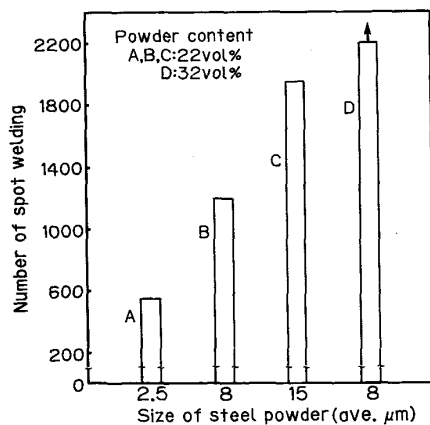


Fig. 7. Effect of steel powder size in the paint on weldability.

と鉄粉末の場合、平均粒子径 $8\mu\text{m}$ 程度の粉末が望ましいと考えられる。

Fig. 8 は鉄粉末に代えてより硬度の高いチタンカーバイド粉末を 2.8%, 亜鉛粉末とアルミニウム粉末をそれぞれ 25.3%, 5.0% 添加した塗料において、チタンカーバイド粉末の粒度が平均粒子径 $7\mu\text{m}$ と平均粒子径 $2.5\mu\text{m}$ の 2 種類について連続溶接性を調べた結果である。この図でも粒度の効果は顕著に見られ、チタンカーバイド粉末の場合も鉄粉末と同様粒度が粗い方が溶接性がよいことは明白である。一方、ここで注目すべきことは Fig. 9 に示すごとく、全金属含有量 30 容量%にしてチタンカーバイド粉末の添加と平均粒子径をかえた時の塗膜通電性を前述したように調べたところ、チタン

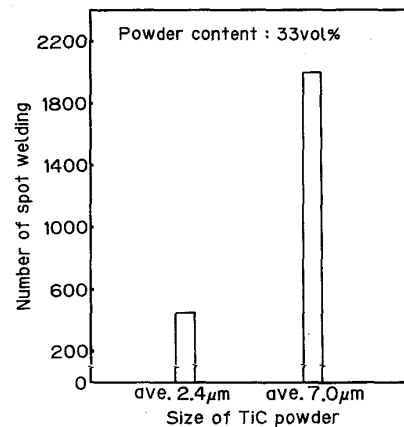
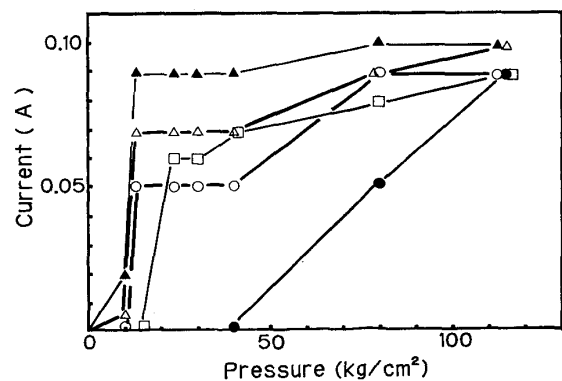


Fig. 8. Effect of TiC powder size in the paint on weldability.



	TiC powder (ave. $7\mu\text{m}$)	TiC powder (ave. $2.4\mu\text{m}$)	Zn powder (ave. $4.4\mu\text{m}$)	Al powder (ave. $10\mu\text{m}$)	Total
▲	2.4 vol%	—	23.5 vol%	—	—
△	—	2.4 vol%	23.5 vol%	—	—
□	—	0.6 vol%	25.3 vol%	—	—
○	—	0.3 vol%	25.6 vol%	—	—
●	—	0 vol%	25.9 vol%	—	—
				4.1 vol%	30 vol%

Fig. 9. Change in current through paint film under constant voltage of 0.5 V with electrode pressure.

カーバイド粉末の通電性向上効果は著しく、Fig. 2 で示している鉄粉を約 20~40 容量%混合したものよりもはるかに大きな効果がわずか 1~2 容量%の添加で得られる。チタンカーバイドの比抵抗は $59.5 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ であり、鉄の比抵抗 $8.7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ に比べ 1 桁大きいにもかかわらずチタンカーバイドの通電性向上効果が大きいのはチタンカーバイドの硬度が HV 3 200 と鉄の硬度 HV 90~100 に比べ著しく大きいこと、すなわち溶接電極圧下によりエポキシ樹脂を破壊する能力の差が大きく効いているものと考えられる。

3.3 亜鉛粉末添加の耐食性に及ぼす効果

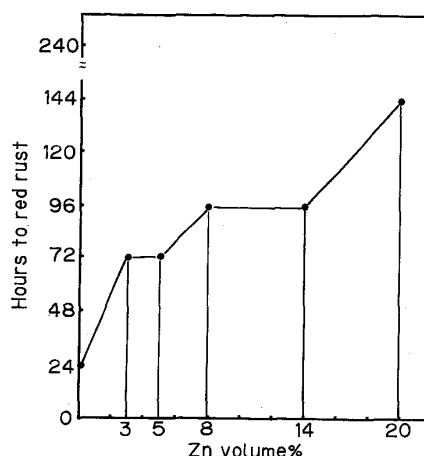
偵察実験の結果、硬質金属と導電性のよいアルミニウム粉末の混合添加が溶接性に好結果を示すことがわかったが、この塗料を冷延鋼板に $10 \mu\text{m}$ 塗装したものは塩水噴霧試験をすると 48 h で赤錆を発生することがわかった。そこで、耐塩水噴霧性の向上を計るため、鉄に対して犠牲防食効果のある亜鉛粉末を添加することを試みた。

鉄粉末とアルミニウム粉末の比を容量で 2:1 に、全金属添加量を 32 容量%に固定し、亜鉛粉末（平均粒子径 $4.4 \mu\text{m}$ ）を 3, 5, 8, 14, 20 容量%添加した塗料を冷延鋼板と 20 g/m^2 亜鉛めつきした鋼板に $10 \mu\text{m}$ 塗装し、塩水噴霧した結果を Fig. 10, 11 に示す。冷延鋼板ベースの場合赤錆発生までの時間は亜鉛粉末の添加量が増えるにしたがつて長くなり、8 容量%で亜鉛粉末無添加の 2 倍に、20 容量%で 3 倍になる。一方、亜鉛めつき鋼板ベースの場合にはわずか 3 容量%の添加で赤錆発生までの時間が 3 倍に伸びることがわかった。

3.4 金属粉末含有量と加工密着性、溶接性

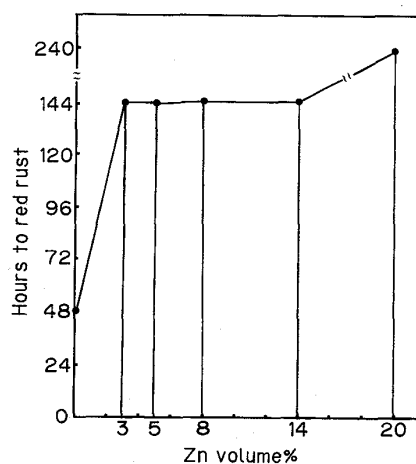
以上の検討の結果、硬質金属粉末を添加することにより溶接性が向上すること、その添加量は全金属粉末添加量の 50~75 容量%が適当であること、亜鉛粉末を添加することにより耐食性が向上することがわかった。これらの結果をもとに Table 3 に示す組成比の硬質粉末含有塗料 A を作成し、亜鉛粉末を単独で含有する塗料 B と比較し、金属添加量と加工密着性、連続溶接性の関係をしらべた結果を Fig. 12 に、また 30 容量%および 50 容量%亜鉛粉末を単独で含有する塗料 B と 30 容量%金属粉末含有量の硬質・軟質粉末含有塗料 A を塗装した鋼板の連続溶接時におけるナゲット径の変化を Fig. 13 に示す。

金属粉末を含有した塗装鋼板の加工密着性は、含有する金属粉末の種類に無関係に、その含有量によつては決まる。Fig. 12 の曲線 (1) は塗料 A, B について含有量と 180 度折り曲げ加工で塗膜剥離のおこりはじめる



Zn + Al + Steel = 32 vol% Al : Steel = 2 : 1

Fig. 10. Effect of addition of Zn powder into the paint on salt spray resistance of the painted cold rolled steel.



Zn + Al + Steel = 32 vol% Al : Steel = 2 : 1

Fig. 11. Effect of addition of Zn powder into the paint on salt spray resistance of the painted Zinc coated steel.

Table 3. Composition of hard/soft mixed metal powder paint and zinc powder paint.

Paint	Metal powder		Mix ratio	Content
	Type	Particle size		
A	Steel powder	ave. $2.5 \mu\text{m}$	37	15~30%
	Zinc powder	ave. $4.4 \mu\text{m}$	43	
	Aluminium powder	ave. $10 \mu\text{m}$	20	
B	Zinc powder	ave. $4.4 \mu\text{m}$	100	15~60%

加工度との関係を示すが、塗料 A, B の差、すなわち含有する金属粉末の種類による差はなく、3 T 加工に耐えるためには金属粉末の含有量は 30 容量%以下、4 T に耐えるためには 38 容量%以下であることが必要であ

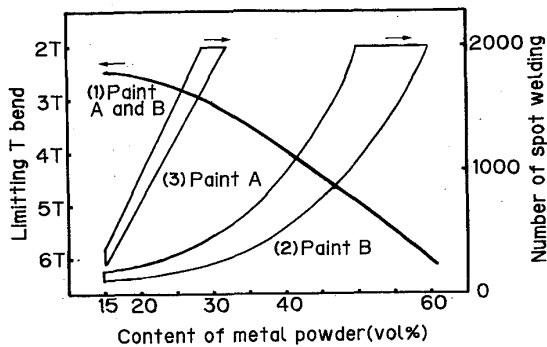


Fig. 12. Effect of metal content on formability and weldability.

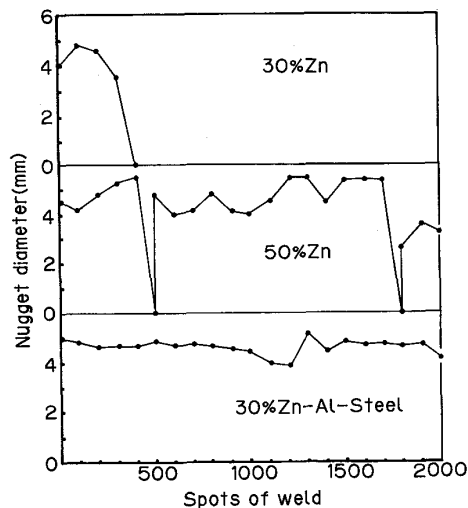


Fig. 13. Changes in nugget diameter with continuous spot weld.

る。

一方、溶接性については Fig. 12 よりわかるように亜鉛粉末単独系の塗料Bでは2000点の連続溶接性を得るには50容量%以上の亜鉛粉末を含有することが必要であり、加工密着性が6Tと劣る。硬質・軟質粉末混合系の塗料Aでは、わずか30容量%金属粉末含有量で2000点の連続溶接性が得られ、加工密着性も3Tと優れている。

実際に金属粉末含有量30%の塗料Aと50, 60%含有の塗料Bを塗装した鋼板を自動車のフェンダーに加工し、ビード部分をセロテープ剥離したところ Photo. 1 に示すように金属粉末含有量30%のものは50%, 60%のものに比べ塗膜剥離が著しく少なく、連続プレス作業でも剥離塗膜による押疵などのトラブルが極めて少ないという結果を得た。

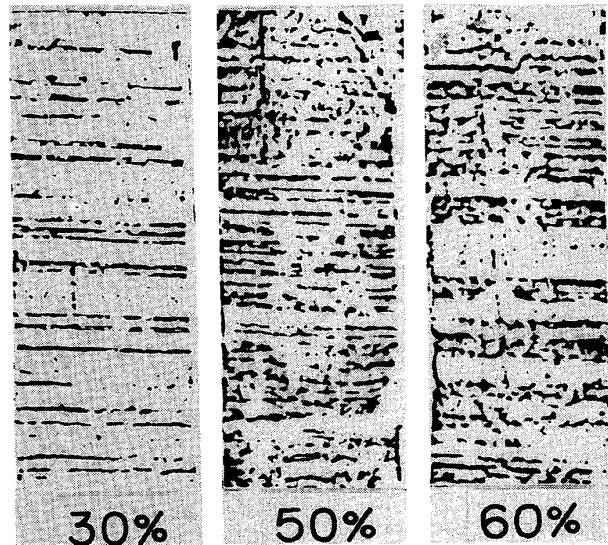


Photo. 1. Degree of paint powdering around beads after press forming to fender.

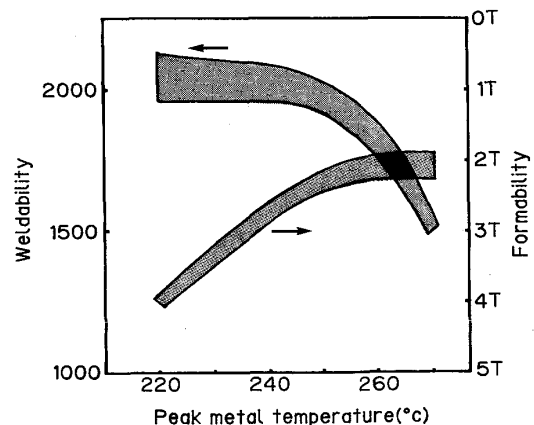


Fig. 14. Effect of peak metal temperature during baking on weldability and formability.

3.5 焼付温度の効果

硬質金属粉末を添加した塗料の溶接性が良い理由として、溶接電極を圧下したとき硬質金属粉末が軟らかいエポキシ樹脂を周辺に押しつけて金属粉末同志の接触が生じることを述べた。この機構を考える場合、エポキシ樹脂の硬化度が溶接性に影響を与えることが考えられる。そこで金属粉末含有量30容量%の塗料Aを10 μ m塗装し焼付温度を最高到達板温(PMT)が220°Cから270°Cまでになるように変化させ40sで焼付けた場合の連続溶接性と加工密着性の結果を Fig. 14 に示す。最高到達板温が250°Cを超えると溶接性が低下することがわかる。これは硬化が進み、エポキシ樹脂の柔軟性がなくなってくるためと考えられる。溶接性とは反対にエ

ポキシ樹脂の硬化がすすむにしたがい、加工密着性が向上する。したがって、適正な焼付条件はこれらの性能のバランスを考慮して決定する必要がある。自動車の成形加工を考えた場合、2～3 T程度の曲げ加工性（一軸伸び換算で約30～50%の伸びに相当）があれば実用的にそれほど問題がないと判断できるので、Fig. 14 から最高到達板温、240～250°C が適当と考えられる。

4. 結 言

自動車防錆用の塗装鋼板には溶接性が必要とされ、塗膜中に亜鉛粉末を50～60容量%添加した塗装鋼板が検討、実用化されていた。しかし、亜鉛粉末を多量に含むためプレス成形時に塗膜が剥離し、押疵の原因となるなどの欠点をもっていた。そこで、塗膜中に添加する金属の種類、大きさ、添加量の影響についてしらべたところ以下のことが明らかになった。

(1) 塗膜中に金属粉末を添加することにより塗膜の加工密着性は劣化し30容量%で3 T、38容量%で4 T、50容量%で5 T、60容量%で6 Tとなる。またこの傾向は金属粉末の種類の影響をほとんど受けない。

(2) 金属粉末の添加量が増えるにしたがい溶接性が向上する。

(3) 亜鉛やアルミニウムなどの軟質粉末に比べ、鉄、ステンレス鋼、チタンカーバイドなどの硬質粉末の方が

溶接性向上効果が大きい。軟質金属粉末の一部を硬質金属粉末で置き換え添加しても溶接性の向上が見られる。

(4) 硬質金属粉末は粒径が大きいほど溶接性向上効果が大きい。塗膜の平滑性の点で平均粒子径8～2.4 μm程度が好ましい。

(5) 亜鉛粉末単独の場合、2000点の連続溶接性を得るには50～60容量%の添加が必要である。このような塗膜は加工密着性が劣化し、プレス作業で塗膜剥離とそれによつて発生する押疵などの問題を生じる。

(6) 亜鉛粉末、鉄粉末、アルミニウム粉末を容量比で、それぞれ43、37、20容量%含む塗料では、全金属含有量30容量%で2000点の連続溶接が可能となり、加工密着性も3 Tと、溶接性と加工密着性を両立させた溶接可能塗装鋼板をつくることができる。

文 献

- 1) S. ISHIHARA: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **23** (1983), p. 897, 岡 襄二: 自動車技術, **37** (1983), p. 875, 北山 実: 鉄と鋼, **72** (1986), p. 1078 ほか
- 2) 山本辰次郎, 西川俊夫: 防錆管理, **18** (1974) 10, p. 31, 山本辰次郎, 西川俊夫: 防錆管理, **22** (1978) 2, p. 23 ほか
- 3) R. K. McGEARY: J. Am. Ceram. Soc., **44** (1961), p. 513
- 4) 松尾左千夫, 塩田俊明, 西原 実, 林 豊, 坂根 正: 鉄と鋼, **72** (1986), p. 1044