

Development of Self-lubricant Steel Sheet “RIVER ZINC® FS”



鈴木 幸子
Sachiko Suzuki

鉄鋼研究所 表面処理
研究部被覆・複合材料
研究室



戸塚 信夫
Nobuo Totuka

鉄鋼研究所 表面処理
研究部薄板表面処理研
究室 主任研究員(課
長)



栗栖 孝雄
Takao Kurisu

エンジニアリング事業
部 鋼構造研究所 開発
企画室主査(部長補)
・理博



市田 敏郎
Toshio Ichida

鉄鋼研究所 表面処理
研究部長・理博



毛利 泰三
Taizo Mouri

鉄鋼研究所 電磁鋼板
研究部 主任研究員(掛
長)

1 緒 言

Znめっき鋼板は、耐食性材料として家電、建材、自動車等、広範な分野で使用されている。各使用部材の製造工程ではプレス成形加工を受けることが多い。この工程は、プレス油または脱膜型固形潤滑剤塗布→プレス加工→脱脂→化成処理→塗装の順で部品加工される。この場合、従来より次のような問題点があった。

- (1) プレス油はスプレー塗布されることが多いので、油の飛散により作業環境が悪くなる。
- (2) プレス後の脱脂が不十分な場合、次の化成処理、塗装工程に悪影響を及ぼし、塗装むらが発生する場合がある。
- (3) 脱脂に用いる有機溶剤は、環境汚染源となる可能性がある。
- (4) 苛酷なプレス成形加工では、潤滑不足によるプレス割れ、型かじりが起こる可能性がある。

これらを改善するために、無塗油でもプレス成形性に優れ、作業

要旨

プレス加工工程での塗油・脱脂作業を省略できる潤滑鋼板「リバージック FS」を開発した。これは、電気亜鉛めっき鋼板をベースにクロメートと特殊樹脂処理を施した機能性表面処理鋼板である。著者らは、実プレスで発生するパウダリングが絞り速度 500 mm/s の連続円筒絞り試験で、実験室的に再現できることを見出した。本法に基づき検討した結果、酢酸ビニルにポリオレフィンワックスを添加した樹脂を付着量 0.4~1.4 g/m² 塗布し、到達板温度 120~180°C で焼き付けることで、耐パウダリング性と深絞り性が両立することがわかった。リバージック FS は、プレス成形性のみならず、耐食性、耐指紋性および溶接性に優れ、家電メーカーを中心に需要が拡大しつつある。

Synopsis:

Self-lubricant steel sheet “RIVER ZINC® FS” which can eliminate oiling and degrease in forming process has been developed. This functional pre-coated steel sheet is constructed with an electro-galvanized sheet, chromate under-coat and resin top-coat containing organic lubricant.

The authors found out that the powdering, which lowers the formability in practical press forming, can be reproduced by the experimental continuous cup-drawing test with high drawing speed of 500 mm/s.

The reproduced test has lead to the following results: The anti-powdering and deep drawability resistance are achieved by coating vinyl-acetate added polyolefin wax at a coating weight of 0.4 to 1.4 g/m² and baking at 120 to 180°C. The self-lubricant steel sheet developed has excellent press formability in addition to good corrosion resistance, anti-fingerprint and good spot weldability.

The use of self-lubricant steel sheet “RIVER ZINC FS”, has been increasing mainly in the area of electric appliances.

環境や効率を改善できる表面処理鋼板の開発が待たれていた。当社では、上記の要請を満たす機能性表面処理鋼板を開発するために薄膜有機樹脂を被覆した潤滑鋼板の研究が鋭意進められてきた。

潤滑鋼板を開発するに当たって、実プレスで発生するパウダリングとプレス割れを実験室で再現・評価する方法についての検討から始め、これに基づいてプレス成形性に及ぼす有機被覆樹脂、潤滑剤の影響を検討した。この結果、電気亜鉛めっき鋼板をベースに、クロメートと特殊樹脂処理を施すことで、プレス油を使用せずにプレス成形でき、かつ耐食性に優れる潤滑鋼板「リバージック FS」を開発することができた。本報では、パウダリングとプレス割れの評価方法、プレス成形性に及ぼす樹脂特性と塗装条件の影響およびリバージック FS の製品特性について報告する。

* 平成3年9月3日原稿受付

2 評価方法の検討

2.1 従来法の問題点

従来、めっき鋼板のプレス成形性は、円筒絞り試験機 (Fig. 1) による鋼板の限界絞り比 (LDR) で評価してきた。薄膜有機被覆鋼板の実プレス加工工程では、樹脂層が剝離するいわゆるパウダリングが発生する可能性がある。実プレス加工は高速で連続的に行われるため、ダイスやポンチの温度は鋼板との摩擦で瞬時には数百度、平均で 70~80°C に上昇^{2,3)}する。パウダリングは、このプレスにともなう摩擦や発熱によって樹脂や潤滑剤がこすり取られ、加工部に黒く粉末状に付着する現象で、プレス加工製品の価値を下げるばかりでなく、金型に堆積してプレス割れの原因となる。従来の円筒絞り試験では、板温上昇や連続加工の再現が困難なため、耐パウダリング性を評価することはできない。そこで、パウダリングをシミュレートするために、板温を実プレス近くに加温したときの摺動試験、高速絞り法による連続加工試験を行った。

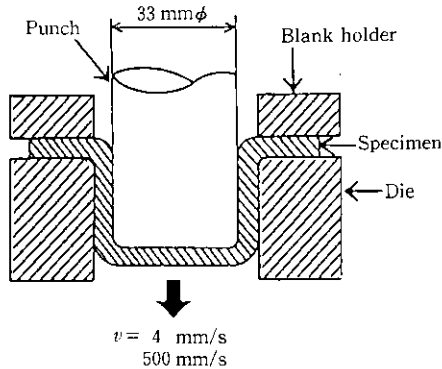


Fig. 1 Cup drawing test

2.2 実験方法

供試材は板厚 1.0 mm, Zn 付着量 20 g/m² の電気 Zn めっき鋼板 (素材 SPCC) に、付着量が 50 mg/m² になるようにクロメート処理した後、潤滑剤を含む樹脂 1.0 g/m² をロールコーターラインで塗布した潤滑鋼板を用いた。試験片として実プレスでパウダリングが発生したものとしなかったものを、それぞれ 10 個ずつ選び、実

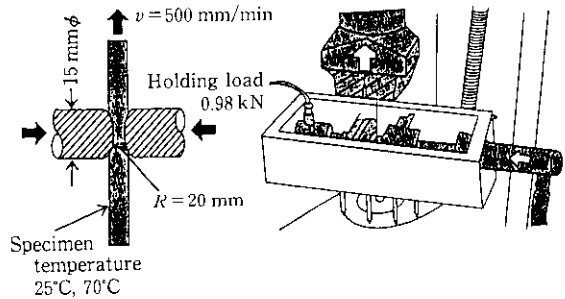


Fig. 2 Friction test

験室的に、摺動試験機と円筒絞り試験機でパウダリングの再現と評価方法を検討した。摺動試験は、Fig. 2 に示す摺動試験機を用いた。試験片の板温は、室温 25°C とプレス加工時の金型の平均温度 70°C の 2 水準とし、加圧力 0.98 kN, 引抜き速度 500 mm/min で引抜き、それぞれの条件下での引き抜き荷重と摩擦係数を測定した。連続円筒絞り試験は、Fig. 1 に示した円筒絞り試験機を用いて、低速絞り速度 4 mm/s と高速絞り速度 (実プレス相当) 500 mm/s でダイスの手入れなしに連続 10 個絞り、LDR と側壁部に発生したパウダリング量を目視判定で評価した。

2.3 結果と考察

2.3.1 摺動試験

Fig. 3 に摺動試験機で 20 個の試験片の引抜き荷重を測定した結果を示す。実線で示した耐パウダリング性良好材も破線で示した不良材も、板温が同じ場合、引抜き荷重に差はなく、初期値からほぼ一定値で推移している。板温を 70°C に上げると引抜き荷重が低下したが、これは昇温によって樹脂に添加してある潤滑剤が熔融、軟化して潤滑性が向上したためである。摩擦係数の測定結果も引抜き荷重と同じ傾向であった。

したがって、本条件下の摺動試験では耐パウダリング性の評価はできなかった。

2.3.2 円筒絞り試験

Fig 4 に、実プレスでパウダリングが発生した不良材を 4 mm/s および 500 mm/s の 2 条件で連続 10 個ずつ円筒絞り試験したときの絞り部のパウダリングの有無と量を調べた結果を示す。加工条件は温和なものから苛酷なものまで設定するために、しわ押さえ力を 4.9~39.2 kN まで変え、絞り比も LDR 相当の 2.30 とし連続試験を行った。4 mm/s で絞ったときは、しわ押さえ力を上げててもパウダリングが全く発生しなかったのに対して、実プレス相当の 500 mm/s ではしわ押さえ力 9.8 kN のとき 9 または 10 個目に少量の

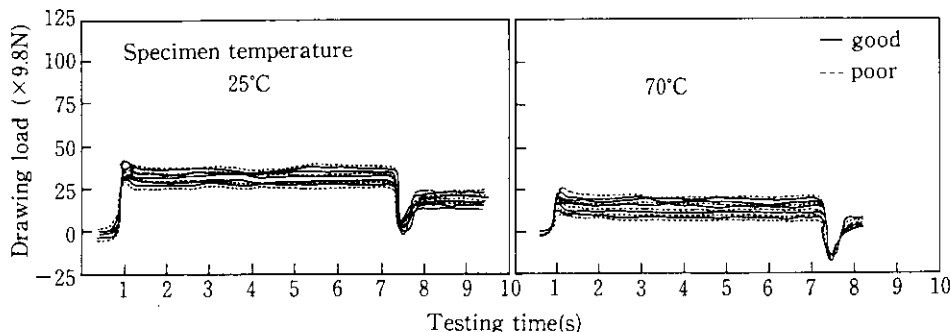


Fig. 3 Drawing load of several specimens

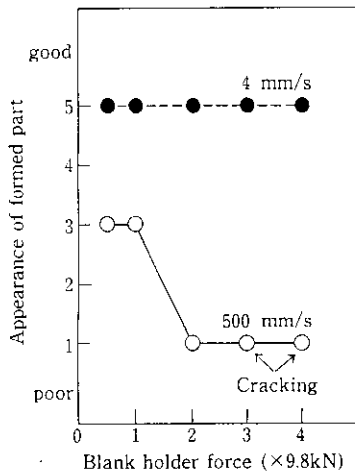


Fig. 4 Effect of drawing speed and blank holder force on appearance of formed part

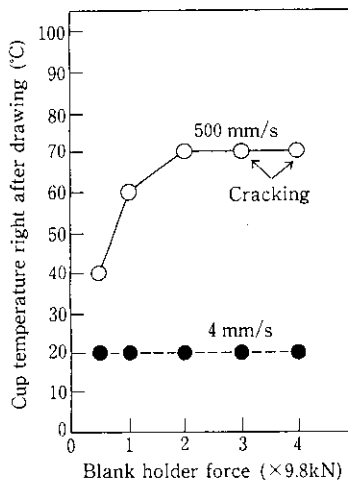


Fig. 5 Effect of drawing speed and blank holder force on cup temperature right after drawing

パウダリングによる剝離粉が絞り部の上部に付着しはじめ、さらにしわ押さえ力を 19.6 kN に上げると実プレスとほぼ同等量の剝離粉が 5 または 6 個目から付着した。一方、実プレス加工での耐パウダリング性良好材は、しわ押さえ力を上げ、高速で絞ってもパウダリングは発生しなかった。以上の結果より、高速で連続絞りすることによって、実プレスでのパウダリングを再現させることができた。

また、試験直後の試験片温度を表面温度計で測定した結果、Fig. 5 に示すように、低速絞りでは、しわ押さえ力を上げても板温の上昇は見られないのに対して、高速絞りでは、しわ押さえ力を上げるとともに板温が上昇し、19.6 kN のとき最高値 70°C に達し、それ以上のしわ押さえ力ではプレス割れを起こした。19.6 kN ではパウダリングも大量に発生していることから、高速で絞ったことにより金型の温度が上昇し、樹脂が熱分解したものと考えられる。

以後、プレス成形性は絞り速度 500 mm/s の高速絞り法による限界絞り比と、その条件で連続 10 個絞ったときのパウダリング発生量で評価した。

3 プレス成形性に及ぼす樹脂特性と塗装条件の影響

3.1 実験方法

2.2 で用いた電気 Zn めっき鋼板を素材とするクロメート処理鋼板を用いて、プレス成形性に及ぼす樹脂系、潤滑剤、樹脂付着量、焼き付け温度の影響を調査した。潤滑樹脂はバーコーターで 0.4~2.0 g/m² 塗布後、熱風循環式オーブンで 100~220°C で焼き付けして供試材とした。プレス成形性の評価は、上記の高速円筒絞り試験で行った。

3.2 結果と考察

3.2.1 樹脂種の検討

プレス成形性の優れた樹脂系を選択するために、Zn めっき鋼板との密着性が高い 5 種の樹脂 (アクリル、アクリル-エポキシ、エポキシ、酢酸ビニル、ウレタン-エポキシ) にポリオレフィンワックスを樹脂固形分に対し 10% 添加して、高速円筒絞り試験を行った。その結果、これらの LDR はすべて 2.30~2.33 と高く、同等であるが、耐パウダリング性に差があることがわかった。そこで、5 種の樹脂の特性について検討した結果、Fig. 6 に示すように耐パウダリング性は、 T_g が高くなるほど向上し、試験樹脂の中では、酢酸ビニル、ウレタン-エポキシ樹脂が優れていることがわかった。同じ LDR でありながら、耐パウダリング性に差が生じることから、樹脂は LDR よりむしろ耐パウダリング性に対する影響が大きいことがわかった。すなわち、樹脂は、連続プレス加工により温度上昇した金型に接触しても熱分解せずに鋼板を覆い、加工時の摩擦を軽減できる高 T_g 樹脂であることが必要である。

以上の実験で、酢酸ビニル樹脂およびウレタン-エポキシ樹脂のプレス成形性が良好であることがわかったが、本研究では耐食性がより優れていた酢酸ビニル樹脂を選びその後の実験に供した。

3.2.2 潤滑剤の検討

プレス成形性に有効な潤滑剤を見出すために、酢酸ビニル樹脂に 10% の潤滑剤を各種添加して、高速円筒絞り試験を行った。その結果を Fig. 7 に示す。LDR が最高の 2.33 でしかも耐パウダリング性も良好なのは、ポリオレフィンワックスであることがわかる。その他のテフロン、グラファイト、窒化ボロン、二硫化モリブデンは、潤滑剤として優れていることが知られているが^{4,5)}、樹脂に添加した場合、凝集や沈降が起きやすく、均一な潤滑被膜が形成しに

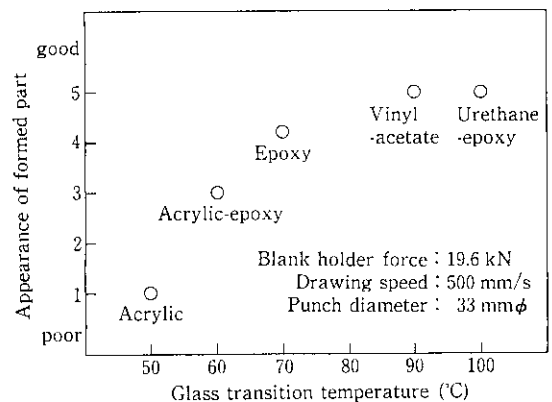


Fig. 6 Effect of glass transition temperature T_g of resin on appearance of formed part

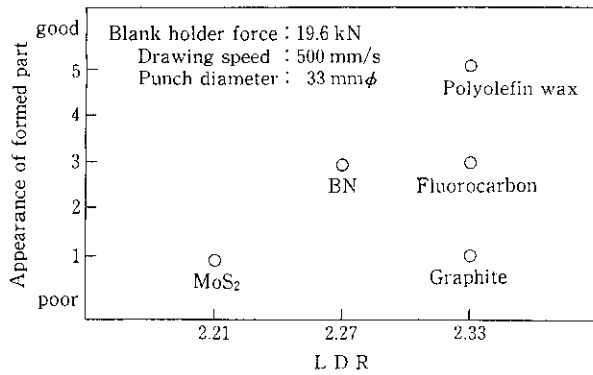


Fig. 7 Effect of lubricating agent on press formability

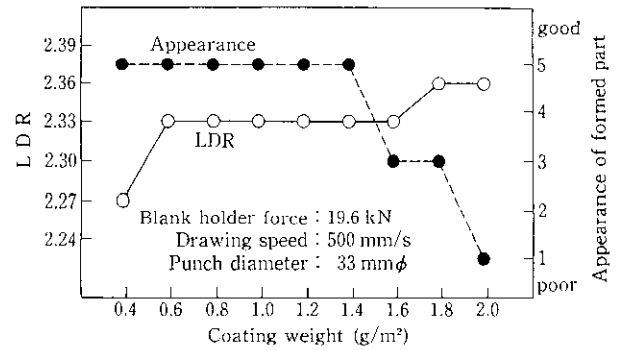


Fig. 9 Effect of coating weight on press formability

くいため、LDR や耐パウダリング性を上げることが困難であった。また、潤滑性（プレス性）を上げるには、摩擦面に潤滑油膜を形成させ、金型と鋼板の2つの金属面を分離させることが最も効果的である。潤滑状態は両者の分離状態によって、流体潤滑、混合潤滑、境界潤滑の3種類に大別できる^{6,7)}。Fig. 8に示すように流体潤滑は、ダイスと鋼板が完全に潤滑油膜で分離され、潤滑被膜として理想的な状態である。境界潤滑は潤滑層の破断により、金属接触が生じて、摩擦面の温度上昇や摩耗が発生し潤滑上のトラブルが発生しやすい状態である。混合潤滑は両者が混在する状態である。Photo 1にプレス油を塗布した電気Znめっき板と潤滑鋼板をプレス加工した場合の側壁部の外観を示す。プレス油を塗布しただけでは、加工方向に微細な傷が発生し、鋼板表面の損傷が認められる。これは、金型と鋼板との接触によるもので、境界潤滑に近い混合潤滑状態でプレス加工されたことを示している。一方、潤滑鋼板は、表面の損傷はほとんど認められない。これは、樹脂が鋼板の凹凸を覆った上に、プレス時の板温上昇過程で、ポリオレフィンワックスが融点に達し溶融することで、鋼板と金型が接触しない流体潤滑に近い混合潤滑状態でプレスされたことを示している。このことが今

回開発した潤滑鋼板がプレス成形性に優れている理由と考えられる。

3.2.3 樹脂付着量の影響

次に、樹脂付着量がプレス成形性に及ぼす影響を調べるために、樹脂付着量を変動させて高速円筒絞り試験を行った結果をFig. 9に示す。LDRは付着量を大きくするほど高くなり、1.8 g/m²以上にすると2.36に達する。一方、パウダリング量は、樹脂付着量が大きくなると増加する。

このように、LDRと耐パウダリング性は相反する傾向にあるため、両特性を両立させる樹脂付着量の範囲は0.6~1.4 g/m²である。

3.2.4 焼き付け条件の影響

潤滑樹脂の焼き付け温度がプレス成形性に及ぼす影響を調べるために、焼き付け温度を変動させた供試材を用いて、高速円筒絞り試験を行った結果をFig. 10に示した。LDRが最も高く、パウダリングが発生しない範囲は、120~180°Cである。これは、120°C未満では樹脂の硬化反応が十分でなく、潤滑皮膜としては十分な凝集力、密着力が得られないためである。また200°C以上では、酢酸ビニル樹脂の熱分解温度220°C⁸⁾に近づき、樹脂が部分的に熱分解

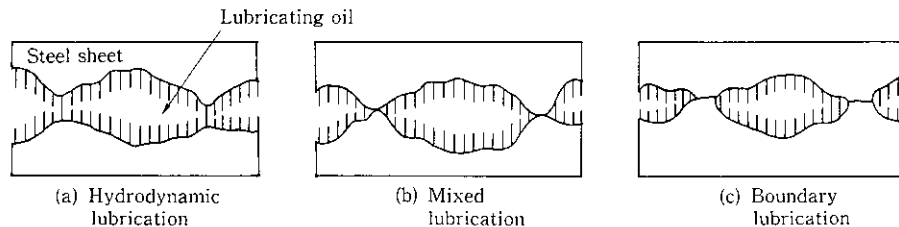


Fig. 8 Schematic diagram of lubrication

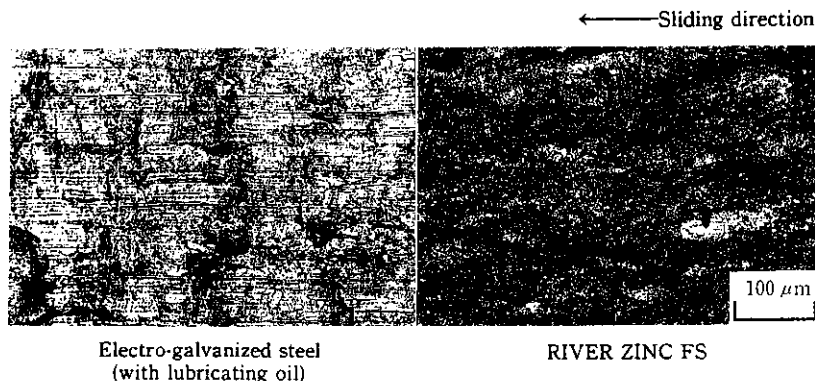


Photo 1 Surface morphology of formed parts after cup drawing test (by microscope)

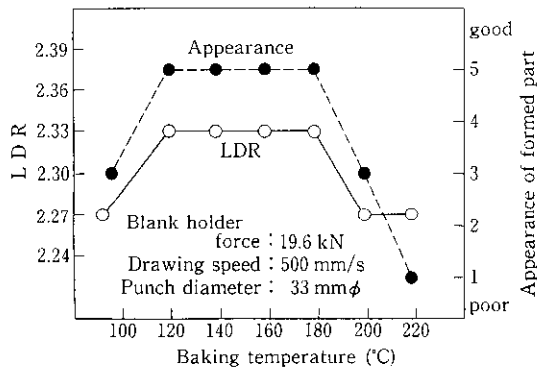


Fig. 10 Effect of baking temperature of resin on press formability

を起こし、凝集力および密着力が低下するためである。
したがって、焼き付け温度は 120~180°C が適正範囲である。

4 潤滑鋼板「リバージnk FS」の性能

4.1 試験方法

上記実験により選定した酢酸ビニル-ポリオレフィンワックス系潤滑樹脂を適正条件で塗布・焼き付けしたリバージnk FS について、クロメート処理 (Cr 付着量 50 mg/m²) した電気 Zn めっき鋼

板と比較して、プレス成形性、耐食性、耐指紋性および溶接性の各試験を行った。プレス成形性は高速円筒絞り試験で、耐食性試験は JIS Z 2371 により平板部と加工部の塩水噴霧試験で評価した。耐指紋性は、鋼板に白色ワセリンを塗布し、その前後の色差 (ΔE) で評価した。また、溶接性は、板厚 1.2 mm の試験片を用いて、加圧力 2.94 kN、溶接サイクル 14 で電流値を変えて溶接し、溶接部の引張強度で評価した。

4.2 結果

Table 1 に性能調査結果をまとめた。潤滑鋼板はプレス油を塗布した電気 Zn めっき鋼板に比べて LDR が高く、加工性に優れていることがわかる。Photo 2 に連続円筒絞り後のサンプルを示した。

Table 1 Performance of RIVER ZINC FS

		Electro-galvanized steel	RIVER ZINC FS
Press formability	LDR	2.15*	2.33
	Appearance of formed part	Poor*	Good
Corrosion resistance (Salt spray test)	Flat part (240 h)	White rust 100%	No corrosion
	Formed part (48 h)	White rust 100%	No corrosion
Anti fingerprint		$\Delta E=3.45$	$\Delta E=0.87$

* With lubricating oil

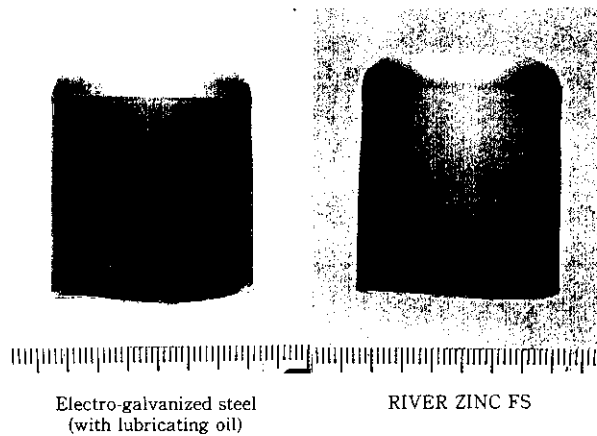


Photo 2 Appearance of formed parts after continuous cup drawing test

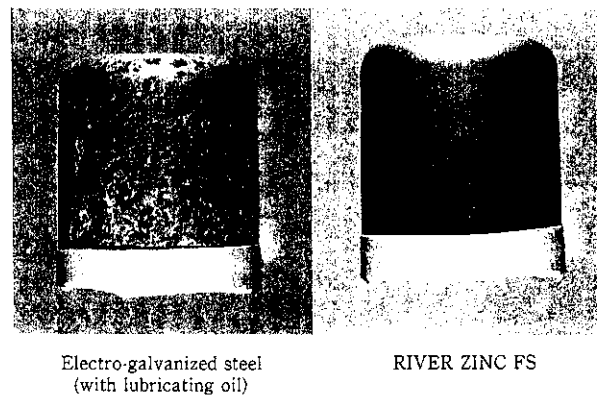


Photo 3 Appearance of formed parts after salt spray test (after 48 h)

電気 Zn めっき鋼板の加工部はパウダリングが著しいが、潤滑鋼板はパウダリングが発生していない。Photo 3 に加工部の耐食性試験結果を示した。潤滑鋼板は 48 時間経過後も全く白錆びが発生しておらず優れた耐食性を有している。その他、 ΔE は、潤滑鋼板の方がクロメート処理鋼板よりも低く、耐指紋性にも優れている。Fig. 11 に溶接性試験結果を示した。若干溶接電流は高くなるが、電気 Zn めっき鋼板と同等に溶接ができる。

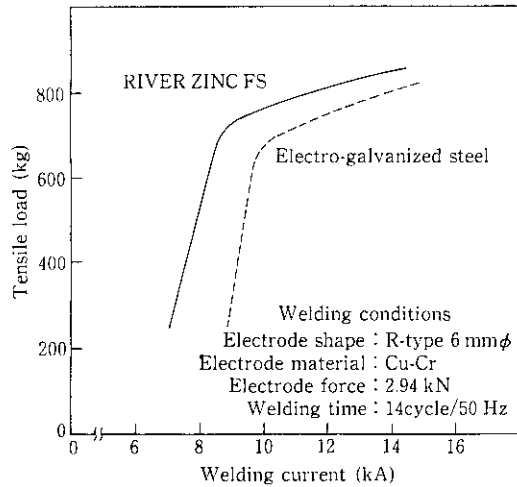


Fig. 11 Spot weldability of electro-galvanized steel and RIVER ZINC FS

5 結 言

潤滑鋼板「リバージック FS」開発上の技術的問題点であった実プレスをシミュレートできるプレス成形性評価方法と、プレス成形性に及ぼす樹脂、潤滑剤の特性および塗装条件について研究し、以下のことが明らかになった。

- (1) 絞り速度 500 mm/s の連続円筒絞り試験で、実プレスで発生するパウダリングを実験室で再現できた。本方法により耐パウダリング性の評価が可能となった。
- (2) 酢酸ビニルにポリオレフィンワックスを添加した樹脂系が潤滑樹脂として優れていた。
樹脂は、高温になったダイス、ポンチに接触しても熱分解することなく鋼板を覆い、加工時の摩擦を軽減できる高 T_g 樹脂が有効である。また、潤滑剤としてポリオレフィンワックスは、ダイスの温度上昇とともに溶解して鋼板を覆い、金型との摩擦を流体潤滑的に緩和させる効果がある。
- (3) 上記潤滑樹脂系では、LDR と耐パウダリング性の両特性を両立させる付着量範囲は $0.6 \sim 1.4 \text{ g/m}^2$ 、焼き付け温度範囲は $120 \sim 180^\circ\text{C}$ である。
- (4) 本潤滑鋼板は、プレス成形性、耐食性および耐指紋性に優れている。また、条件を設定することによって、電気 Zn めっき鋼板と同等の溶接性を有する。

以上述べたように、樹脂系、潤滑剤、樹脂付着量および焼き付け条件の選定により開発した潤滑鋼板「リバージック FS」によって、塗油および脱脂工程の省略が可能となり、作業工程の短縮化および作業環境の改善が実現できた。現在、リバージック FS は家電メーカーを中心に需要が拡大している。

参 考 文 献

- 1) 鈴木幸子, 戸塚信夫, 栗栖孝雄, 毛利泰三: 材料とプロセス, 4(1991), 2, 606-609
- 2) 片山正男: 色材協会, 59 (1986) 9,
- 3) 木村好次, 岡部平八郎: 「トライボロジー概論」, (1982), 150, [養賢堂] 41-43
- 4) ウォレン・E・ジャスミン: 潤滑, 31 (1986) 6, 369-373
- 5) 甲斐慎一郎: 潤滑, 19 (1974) 10, 724-726
- 6) 薄鋼板成型技術研究会編: プレス難易ハンドブック, (1987), 25-35
- 7) 日本塑性加工学会: 塑性加工におけるトライボロジー, (1972), 344-346
- 8) 桜田一郎: 酢酸ビニル樹脂, (1964), 147, [高分子化学刊行会]