

# 自動車外板用表面処理鋼板 表面外観性に優れた溶融亜鉛めっき鋼板 (GI)

## Hot-Dip Galvanized Steel Sheet with Excellent Surface Quality for the Automotive Outer Panels

飛山 洋一 TOBIYAMA Yoichi JFE スチール スチール研究所 表面処理研究部 主任研究員(副部長)  
阿保谷和洋 ABOTANI Kazuhiro JFE スチール 西日本製鉄所 冷延部冷延技術室 主任部員(副課長)

### 要旨

プレス成形性、溶接性や表面外観品質の優れた自動車外板用溶融亜鉛めっき鋼板 (GI) を開発した。プレス成形性については、表面粗度適正化と高潤滑防錆油の使用により摺動性を改善することができた。溶接性については、素材の適正化により溶接電極寿命を改善することができた。また、ワイピング条件の適正化による湯じわ模様防止、GI 専用浴での製造によるドロス付着防止、めっき後の冷却速度コントロールによるミニマムスパンゲル安定化などのプロセス上の改善により表面外観品質が向上した。現在、本開発品は営業生産されている。

### Abstract:

A new type of hot-dip galvanized steel sheet (GI) with excellent press formability, weldability and surface appearance has been developed for automotive outer panels. The sliding characteristics of GI in press forming have been able to be improved through the optimization of surface roughness by texture control during skin-pass rolling and by the use of high-lubricating oil. The life of welding electrode in the spot welding of GI has been extended by the suitable selection of substrate chemistry. Further, excellent surface quality for the automotive outer panels has been provided by the prevention of bath wrinkle patterns by adjusting a wiping condition, the avoidance of dross adherence with the use of a bath containing suitable amount of Al for GI, and the generation of minimum spangles under cooling rate control after galvanizing. The newly developed GI sheets are put into commercial production.

## 1. はじめに

北米など寒冷地での塩害対策のために、1970 年代後半に各種表面処理鋼板が開発、使用され始めた。その後、使用割合が増加し 1990 年代には自動車用鋼板全体の 2/3 以上を占めるようになった。

使用される表面処理鋼板の種類に関しては、自動車メーカーごとに防錆対策に対する考え方や重視する性能が異なるため、種々の表面処理鋼板がそれぞれの特長を活かして使い分けされているのが実状である。

欧州自動車メーカーでは、電気亜鉛めっき鋼板 (EG) や合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (GA) も使用しているが、非合金の溶融亜鉛めっき鋼板 (GI) を主に使用している。さらに最近では、GI を内板だけでなく外板にも適用するメーカーも増加しつつありその需要が拡大している<sup>1)</sup>。

従来から GI は、電気亜鉛めっきに比較し厚目付けの製品が製造しやすく、製造コストが安いなどの利点がある。

一方で、自動車外板に適用するためには表面品質の問題やプレス加工性などの各種特性に対する課題を改善する必要があった。

本報では、これらの問題を解決し、自動車外板への適用に成功した GI の製造技術および品質特性について述べる。

## 2. 溶融亜鉛めっき鋼板 (GI) の諸特性

### 2.1 耐食性

Fig. 1 に各表面処理鋼板の耐食性試験の結果を示す<sup>2)</sup>。Zn 付着量の異なる各種の表面処理鋼板をめっきままの状態で沖縄 (海岸より約 10 m) に 4 年暴露した結果である。付着量が多いほど耐食性は向上する。GI は、低コストで容易に厚めっきが可能であるため、防錆性の観点から有利である。

また、Fig. 2 に CCT 試験にて塗装、無塗装状態での各種鋼板の耐食性を評価した結果を示す。Zn-Ni 合金めっき鋼板は無塗装での裸耐食性に比較的優れ、GA は塗装後の

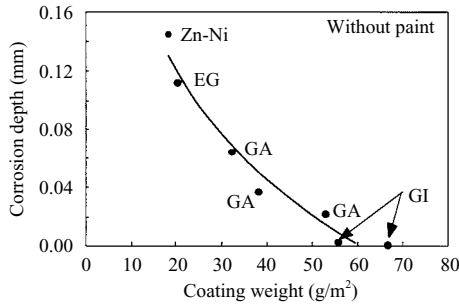


Fig. 1 Relationship between coating weight and corrosion depth examined in various Zn coated steel sheets exposed in Okinawa seashore for 4 years

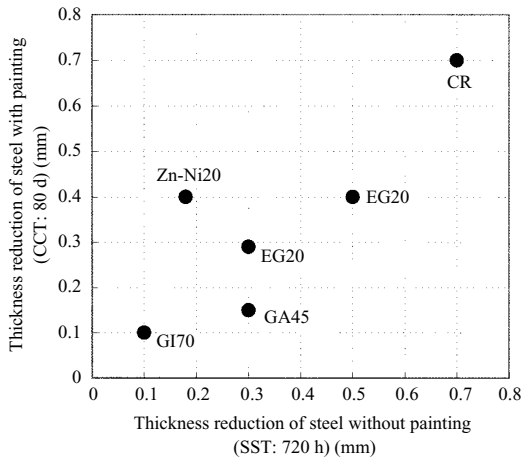


Fig. 2 Preforation corrosion resistances of pre-coated steel sheets with and without painting

耐食性に優れる傾向がある。一方、GIは裸耐食性においても塗装後の耐食性でも優れているのが分かる<sup>2)</sup>。

## 2.2 プレス成形性

素地鋼板が良好な機械的特性を有していても、めっき層とプレス金型との摺動特性が劣るとビード通過部における鋼板の流入量が制限され、結果として割れが発生するなど、優れた機械的特性をプレス成形で活かすことができない場合がある。

Fig. 3に幅20mmのGA, EG, 冷間圧延鋼板(CR)とGIに洗浄油を1g/m<sup>2</sup>附着させ、擦動方向長さ20mmの平面金型片(材質:SKD11)を鋼板の表面に1960Nで押付け20mm/minで摺動させた場合の摩擦係数を示す。GIは、GA, EG, CRに比較して摩擦係数が小さく摺動特性に優れていることが分かる。

さらに、GIの摩擦係数に及ぼす表面粗度、使用する防錆油、試験時の面圧の影響について調査した。めっき後の調質圧延時のロール粗度を変化させ、高粗度材と低粗度材を製造した。Fig. 4に測定結果を示す。低面圧時には、低粗度の鋼板の方が摩擦係数は低い。摩擦係数は、面圧が高くなるにつれて粗度の影響が小さくなり、6860Nを超えると両者に差がなくなることが分かる。

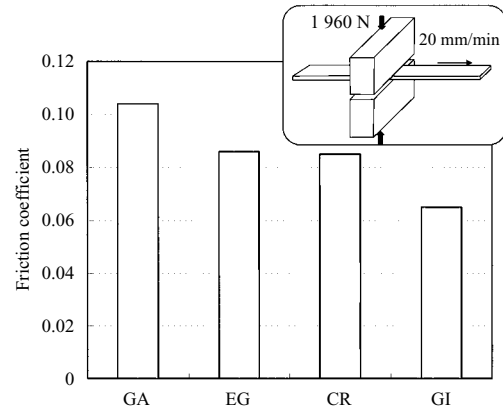


Fig. 3 Influence of friction for various Zn coated steel and cold-rolled steel (Washing oil: 1 g/m<sup>2</sup>, Oil viscosity: 17 mm<sup>2</sup>/s, Sliding speed: 20 mm/min, Pressing force: 9.8 MPa)

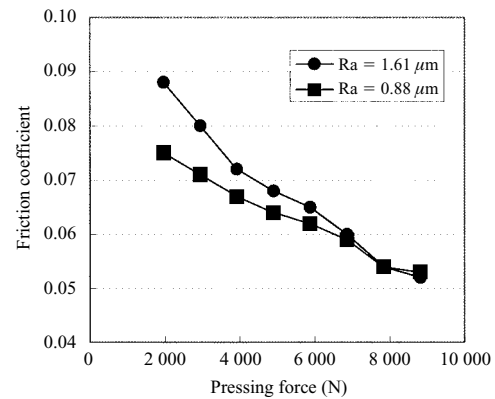


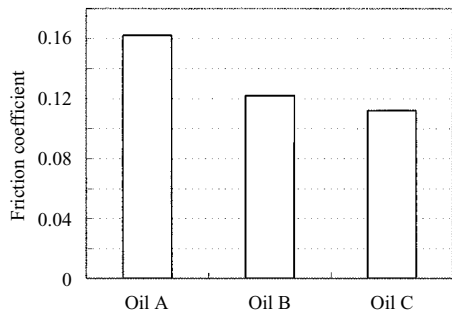
Fig. 4 Influence of surface roughness on coefficient of friction for GI

Fig. 5, 6に幅20mmのGIに3種類の防錆油を1.5g/m<sup>2</sup>附着させ、平面および円柱金型片(材質:SKD11)を1960Nで押付け20mm/minで摺動させた時の摩擦係数を示す。通常防錆油A(動粘性率:17mm<sup>2</sup>/s)と高潤滑防錆油B(動粘性率:36mm<sup>2</sup>/s), C(動粘性率:26mm<sup>2</sup>/s)を比較した結果では、高潤滑防錆油を使用することにより平面摺動試験、円柱摺動試験のいずれでも摩擦係数が低下する。このようにGIは、適正な粗度の付与と高潤滑防錆油を適用することで良好なプレス成形性を得ることが可能である。

## 2.3 溶接性

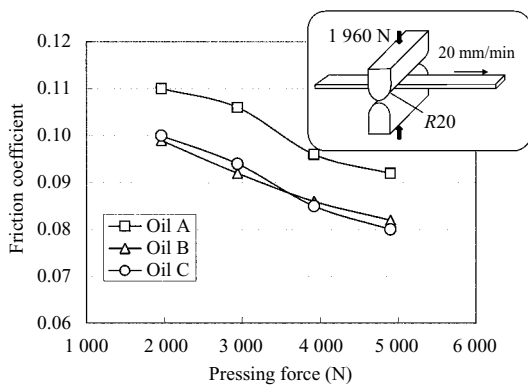
自動車車体は、1台当たり3000-4000点のスポット溶接により組み立てられている。Zn系防錆鋼板は、冷間圧延鋼板に比較すれば電極寿命、すなわち同一電極での連続打点数が低いという欠点がある。その理由としては、軟質、低融点の亜鉛めっき層が存在するため、

- (1) 通電経路が拡大し高電流溶接が必要となる。
- (2) 電極先端が高温化し、電極先端の損耗が増長されやすい。



A: Viscosity 17 mm<sup>2</sup>/s (Standard anti-rust oil)  
 B: Viscosity 36 mm<sup>2</sup>/s (Lubrication type anti-rust oil)  
 C: Viscosity 26 mm<sup>2</sup>/s (Lubrication type anti-rust oil)

Fig. 5 Coefficient of friction measured on GI with various anti-rust oil (Flat type die)



A: Viscosity 17 mm<sup>2</sup>/s (Standard anti-rust oil)  
 B: Viscosity 36 mm<sup>2</sup>/s (Lubrication type anti-rust oil)  
 C: Viscosity 26 mm<sup>2</sup>/s (Lubrication type anti-rust oil)

Fig. 6 Coefficient of friction measured on GI with various anti-rust oil (Cylindrical type die)

などが考えられている。

素地鋼板中に B を添加することにより、連続スポット溶接打点性は改善される。熱影響部の粒成長が抑制され、スポット溶接部の疲労強度が改善できることが報告されているが、電極の消耗に対しても粒成長抑制による鋼板の軟化抑制が有効に作用したと考えられる。このように鋼板からの改善を種々試みた結果、Fig. 7 に示すように電極寿命の延長が可能となった。

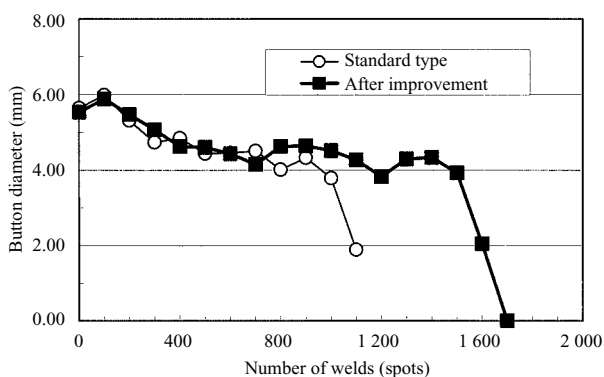
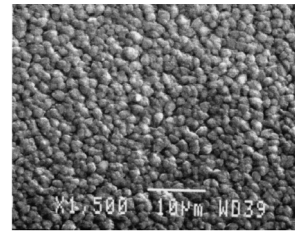
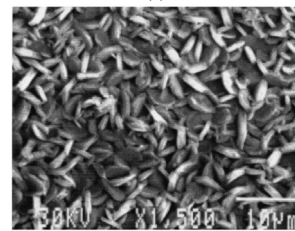


Fig. 7 Relationship between number of welds and button diameter in spot welding for GI



(a) CR



(b) GI



(c) GA

Photo 1 Scanning electron micrographs of phosphate coatings formed on (a) CR, (b) GI, and (c) GA

## 2.4 化成処理性

化成処理は、鋼板に対する塗装前処理として施され、塗装後の耐食性、鋼板と塗料の密着性を向上させる働きをもつ。通常化成処理結晶観察で特性が評価される。

Photo 1 に CR, GI, GA を日本パーカー(株)製 PB-WL35 で 2 min 浸漬後、水洗・乾燥した鋼板を SEM により測定した結晶外観を示す。冷間圧延鋼板では、フォスフォライトの構造をもつ結晶が観察される。一方 GA, GI ではフォーパイトの結晶が観察され、大きさ、形状ともに両者に差がない。

GA は、電着塗装時にクレタと呼ばれる塗装欠陥が発生しやすいことが報告されている<sup>3,4)</sup>。このため、上層に Fe-P めっきをすることなどによりクレターの発生を防止している。GI では、GA と比較してクレターが発生することがなく良好な電着塗装性を示す<sup>2)</sup>。

以上のように、開発された GI は、自動車用外板材として要求される諸特性において良好な性能を有することが示された。

## 3. 溶融亜鉛めっき鋼板 (GI) の製造技術

### 3.1 表面外観向上技術

#### 3.1.1 湯じわ模様対策

亜鉛浴でめっきされた鋼板は、亜鉛浴上で空気あるいは N<sub>2</sub>(以下、ワイピングガス)により Zn の付着量をコントロー

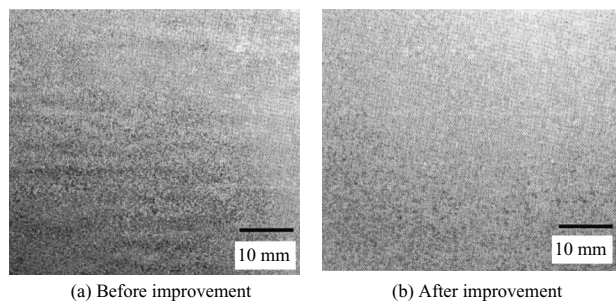


Photo 2 GI appearance before and after improvement in wrinkle pattern on the wiping conditions

ルされる。この際、ワイピングガスの吹き付けにより鋼帯の微小振動や、めっき層の不規則湯流れなどのために、めっき表面に Photo 2 (a) に示すような波流紋状の模様(湯じわ)を発生することが多い。特に自動車用外板材の用途においては、亜鉛めっき表面を塗装下地表面とした場合、塗膜の表面性状、特に平滑性が阻害されるため、湯じわ模様を防止しなければならない。

このため、西日本製鉄所倉敷地区の連続式溶融亜鉛めっき設備では、ワイピング条件(ワイピング圧力、ノズル-鋼板距離、ノズルの浴面からの高さ)を適正条件下に制御することにより湯じわ模様の防止技術確立した。Photo 2 (b) に確立後の表面性状を示す。

### 3.1.2 スパングル対策

鋼板に付着した Zn が凝固する際、凝固核を中心に樹枝状に結晶が成長し、亜鉛めっき鋼板の表面に華模様のスパングルが形成される場合がある。スパングル模様は、建材などの用途ではその表面の美しさから好まれる反面、自動車用鋼板としては、スパングルによる表面の凹凸や結晶方向の差が塗装後の外観を損なうため、スパングルを微細化したミニマムスパングル材が必要となる。スパングルの大きさは、亜鉛浴中に存在する Pb, Sb 量が多くなるほど大きく、まためっき層の凝固速度が高くなるほど小さくなること知られている。前者は、溶融亜鉛中の Pb, Sb の量が多くなると固体亜鉛中の Pb, Sb の溶解度が低いため未凝固部の凝固点が降下するためであり、後者は、凝固速度が高くなるほど凝固結晶核生成速度が大きくなるためである。

Photo 3 (a) に Cu<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液にてエッチング後、スパ

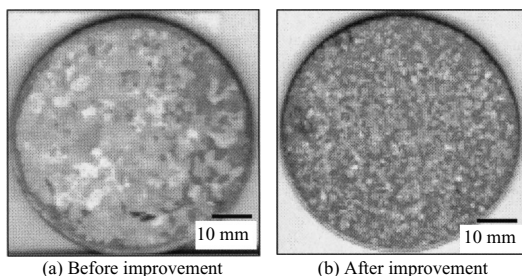


Photo 3 Spangle pattern before and after improvement on the bath and cooling conditions (After etching with Cu<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aqueous solution)

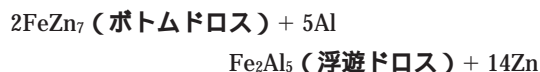
ングルの大きさを明確にした鋼板の外観写真を示す。

西日本製鉄所倉敷地区の連続式溶融亜鉛めっき設備においては、亜鉛浴中の Pb 量を最小限とし、さらに亜鉛浴上での冷却速度のコントロールを実施することにより、Photo 3 (b) に示すようなスパングルサイズの微細な鋼板の製造を可能とした。

### 3.1.3 ドロス付着対策

GI の品質問題の一つに、亜鉛浴中で晶出するドロスが鋼板に付着し、プレス成形後に星目と呼ばれる表面欠陥をもたらすことがある。ドロスは、鋼板から亜鉛浴中に溶出した Fe が浴中添加 Al や溶融 Zn と反応して形成される Fe-Al 系および Fe-Zn 系の金属間化合物に分類できる。Fe-Al 系ドロス(浮遊ドロス)はポット中に浮遊し、Fe-Zn 系ドロス(ボトムドロス)はポット下部に存在し、それらの形成は浴中の Al 濃度や浴温度の影響を大きく受けることが知られている<sup>5-7)</sup>。

1 台のポットで GI と GA を製造する場合、GA 浴から GI 浴への切替え時に浴中の Al 濃度を大きく増加させるため、下に示す反応が生じ浮遊ドロスが頻りに発生する。



これらの浮遊ドロスは Photo 4 に示すように板面に付着し表面欠陥となる。

西日本製鉄所倉敷地区の連続式溶融亜鉛めっき設備では、2001 年 11 月より Zn ポットを 1 台増設し、GA と GI をそれぞれの専用ポットで製造できるようにした。浴切替

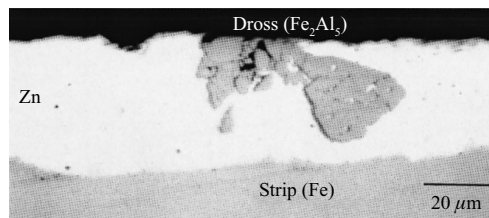


Photo 4 Cross-sectional micrographs of dross on GI

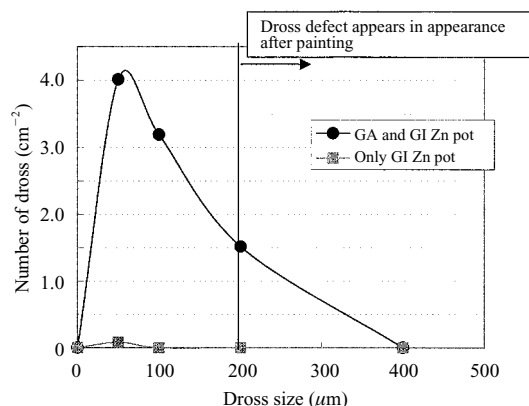


Fig. 8 Number of dross on GI sheet

えをなくし安定した浴条件でGIを製造することにより、ドロスの発生量を最小限に抑え、Fig. 8に示すように鋼板に付着するドロス付着個数を大幅に減少することができ、良好な外観のGI製造が可能となった。

### 3.2 表面粗度転写技術

表面粗度は、主に調質圧延時のロール表面粗度、圧延荷重や張力を変化させて、制御することが可能である。西日本製鉄所倉敷地区の冷間圧延工場では、ロール加工機としてショットダル加工装置、レーザーダル加工装置に加えて、放電ダル加工機 (EDT (electro discharge texturing)) を1999年12月に導入した。Fig. 9に各ロール加工機の表面加工可能範囲を示す。EDTでは、 $R_a$ 、PPI、 $W_{CA}$ の複数の粗さ指標に対して広い加工範囲を有するとともに、パラツキを小さくすることが可能である。

Fig. 10にショットダルロールと放電加工ロールで調質圧延されたGIの板面プロフィールを示す。

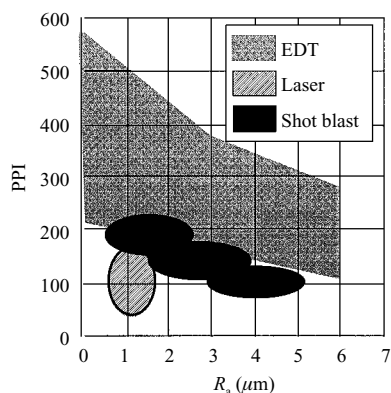


Fig. 9 Influence of skin-pass roll texturing technology on PPI and roughness

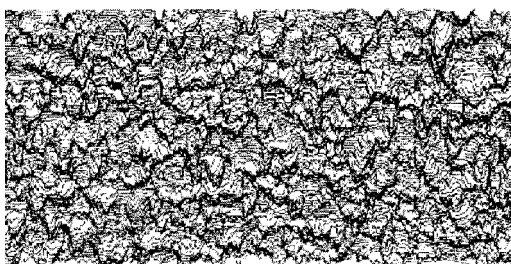
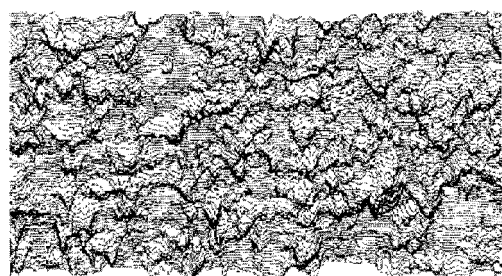


Fig. 10 Influence of skin-pass roll texturing on texture and roughness for GI sheet

EDTを用いてロールの粗度プロフィールを変え、プレス加工の用途によってGIの表面粗度を作り分けることにより、プレス加工性に優れた鋼板の製造が可能である。

## 4. おわりに

自動車用GIを自動車外板用途に使用する場合、従来からの課題であったプレス加工性、スポット溶接性、表面外観などの問題を以下のように改善した。その結果、プレス成形性および表面外観に優れた自動車外板用GIの製造が可能となった。

### (1) GIの特性

- (a) 良好な鋼板機械的特性に加え、表面粗度制御および高潤滑防錆油適用による摺動特性改善により、良好なプレス成形性が得られた。
- (b) 素材成分の改善により、良好な連続スポット溶接性が得られた。

### (2) GIの製造方法

- (a) ワイピング条件を最適化することにより湯じわ模様欠陥発生を防止することができた。
- (b) 亜鉛浴組成およびめっき後の冷却速度を最適化することにより、スパンゲルの微細な鋼板が製造できるようになった。
- (c) GI専用ポットによる浴条件安定化によりドロス付着の少ない鋼板が製造できるようになった。
- (d) EDTを利用してロール粗度プロフィールを変え、プレス用途に合わせた鋼板の表面粗度の付与が可能となった。

### 参考文献

- 1) Quantin, D.; Ronin, E. 40th MWSP Conf. Proc. ISS. 1998.
- 2) 窪田隆広, 山下正明. 鉄と鋼. vol. 7, 1991, p. 1087.
- 3) 佐藤登, 田中佐生朗. 鉄と鋼. vol. 8, 1986, p. 1084.
- 4) 大和康二, 市田敏朗, 入江敏夫. 川崎製鉄技報. vol. 21, no. 3, 1989, p. 222.
- 5) 山口洋, 久松敏弘. 鉄と鋼. vol. 60, 1974, p. 96.
- 6) 大居利彦. 材料とプロセス. vol. 5, 1992, p. 1736.
- 7) 高村日出夫. 鉄と鋼. vol. 81, 1995, p. 43.



飛山 洋一



阿保谷和洋