

# 自動車用高潤滑表面処理鋼板 プレス成形性に優れた合金化溶融亜鉛めっき鋼板

## Lubricant Treated Anti-Corrosion Steel Sheets for Automotive Use —Galvanized Steel Sheet with Excellent Press Formability—

杉本 芳春 SUGIMOTO Yoshiharu 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)・Ph. D.  
櫻井 理孝 SAKURAI Michitaka JFE スチール スチール研究所 表面処理研究部 主任研究員(課長)  
加藤 千昭 KATO Chiaki JFE スチール スチール研究所 表面処理研究部長・Ph. D.

### 要旨

合金化溶融亜鉛めっき鋼板の摺動特性を大きく向上させ、大型一体成形などの難成形自動車ボディーパネルに求められる優れたプレス成形性を有した高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板「GAN」の開発コンセプトおよび品質特性について述べる。本開発品のプレス成形性は合金化溶融亜鉛めっき上に Fe-Zn 合金電気めっきを施した 2 層 GA と同等であり、GA を凌ぐスポット溶接性、接着性を有する。本開発品の高潤滑性を得るため、Ni-Fe-O 無機系極薄膜 (50 nm) を付与しており、プレス加工時の耐凝着性改善には、Fe、Ni および O が、プレス油との親和性向上とスポット溶接性向上には Ni が、接着性向上には Fe がそれぞれ役割を担っている。また、JFE スチールでは潤滑性と型かじり性を向上させ、プレス成形後のアルカリ脱脂工程でプレス油とともに溶解・脱膜する有機系潤滑皮膜の開発も実施した。

### Abstract:

JFE Steel has been developing galvanized steel sheets (GA) with both of inorganic and organic lubricant coatings for many years to improve press formability for automotive use. As the result, Ni-Fe-O composite lubricant coated GA named "GAN" has been developed. GAN has excellent press formability that is equal to that of GA coated with a Fe-Zn electroplated upper layer (double layered GA). GAN shows excellent spot weldability and adhesive compatibility in comparison with GA and double layered GA. The Ni-Fe-O inorganic lubricant coating is as thin as approximately 50 nm. It was found that Ni, Fe and O are indispensable for the improvement of surface friction. The effective element each for weldability and adhesive compatibility is Ni and Fe, respectively. In addition to GAN, an organic lubricant coated GA has been developed. Its coefficient of friction is extremely low.

### 1. 緒言

自動車車体の防錆性能向上のため、防錆鋼板の使用比率の拡大とともにめっきの厚目付化が進められ、合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (GA) が、自動車用防錆鋼板の主流となった。これは、電気めっき鋼板では厚めっきが経済的理由から困難であり、厚目付化に有利な溶融めっき鋼板へ転換されたことによる。ところが、GA は厚目付化により摩擦抵抗が増加し、難成形部品では割れなどのプレス不良を誘発した。一方、ボデー外板に使用する場合の塗装仕上がり性 (電着塗装時のクレーター状欠陥の抑制) を考慮して、GA の表面に Fe 含有率の大きい Fe-Zn 合金電気めっきや Fe-P 電気めっきを施した 2 層型合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (2 層 GA) が開発された。開発材は高 Fe 含有層の良好な摩

擦特性が注目され、プレス性改善策として、外板だけでなく内板にも採用されるようになった<sup>1)</sup>。

しかし、最近、材料に対するコストダウンの要請が高まり、高価な 2 層 GA の使用を避ける動きがある一方で、大型パネルの一体成形、高張力鋼板の採用拡大など、鋼板にはより一層の良好なプレス加工性が求められている。

そこで、2 層 GA と同等の良好な潤滑性を有し、その他の要求特性は GA 同等以上である固形潤滑層を有した合金化溶融亜鉛めっき鋼板の開発が強く要望されるようになった。

JFE スチールでは、この要望に応えるため、長年にわたって研究開発を行ってきた。この結果、2 層 GA と同等の良好な潤滑性を有し、スポット溶接性および接着剤適合性を向上させ、さらに、低コストで製造可能な無機系高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板「GAN」を開発<sup>2-4)</sup>・実用化した。

ここでは本開発品の皮膜設計の考え方、品質性能について述べる。さらに、2層GAを上回る潤滑特性を付与することに成功した有機系固形潤滑処理技術<sup>5)</sup>についても簡単に述べる。

## 2. 潤滑皮膜開発の考え方

鋼板の摺動特性は鋼板表面の種々の要因によって大きく変化する。GAの場合、鋼板表面の粗さや、めっき層のFe含有率・めっき表層の吸着物・酸化物といった化学的な因子などの影響を受けるが、いずれの因子もその制御により安定的に2層GAレベルまで摺動性を向上させることが困難であった。

そこで、GAの摺動性向上に対しては、極薄膜の潤滑層を付与するという考え方で開発が進められた。

潤滑の状態には、鋼板・プレス金型の2面間に油などの流体膜が存在する流体潤滑、吸着分子膜を介して接触する境界潤滑がある。実際のプレス成形時の摩擦状態は、低面圧においては流体潤滑と境界潤滑の混合状態であり、流体潤滑の比率が高い。ところが、高面圧下においては、金型と被加工材は部分的に接触し、境界摩擦や金属が直接接触し凝着した状態の部分も存在するようになる。摩擦係数を小さくするためには、流体潤滑あるいは境界潤滑の領域が広いこと、凝着した状態における金属金属接触部の剪断力が低いことが必要となる。

そこで、摺動性向上のため(1)耐凝着性の改善(2)プレス油の鋼板表面との親和性の向上を極薄膜で達成することを設計指針とした。さらに、スポット溶接性・接着剤適合性を向上させることを目標に検討を行った。この結果、Ni-Fe-O系無機潤滑皮膜を開発、高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板「GAN」を実用化した。Fig. 1に、開発コンセプト、ならびに皮膜構造を示す。本開発品は、要求特性ごとの有効成分を複合化することにより、種々の要求特性を高いレベルで満足している。その特徴は、極薄膜(50 nm)でも優れたプレス性、溶接性、接着性を付与することに成功した点にある。

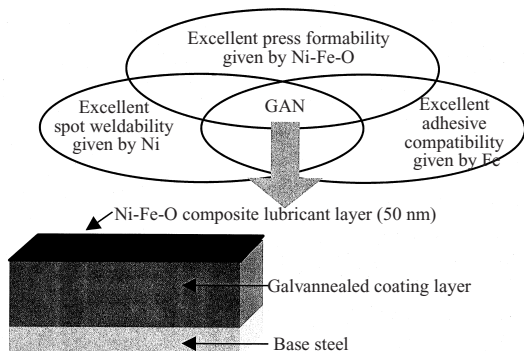


Fig. 1 Basic concept and cross sectional view of GAN

## 3. 潤滑皮膜の開発

### 3.1 耐凝着性の改善

耐凝着性改善の検討として、同一のGA表面に電気めっき法(硫酸浴)により純Zn, 純Fe, 純Ni, Ni-Feの極薄膜めっき(50 nm)を施した材料について摩擦係数を測定した。摩擦係数の測定は平板摺動試験により行った。洗浄油を塗布した試験片を取り付け、工具を一定荷重 $N$ で試験片に押し付けながら、一定速度で試験片を引き抜く時の引き抜き荷重 $F$ を測定し、 $F/N$ より摩擦係数を求めた。使用工具は、実プレスにおける絞りビード部を想定した $3 \times 10$  mm(面圧 = 130 MPa)、材質はSKD11とした。ここで、測定にあたっては洗浄油(極圧添加剤フリー)を使用した。この結果をFig. 2に示す。純Zn, 純Fe, 純Ni, Ni-Fe合金めっきを被覆することにより、摩擦係数はやや低下し、その摩擦係数はZn, Ni, Ni-Fe, Feの順で低下した。これは、それぞれの金属の融点の違いによる工具との耐凝着性の差に起因するものと考えられる。しかしながら、Feめっきを施したとしても目標とする2層GAのレベルには達しないことが分かった。そこで、Ni-Feめっきに対し、酸素をさらに含有させたNi-Fe-O皮膜を用いたところ、極薄膜にもかかわらず、摩擦係数は大きく低下することが分かった。

以上のように、高融点の金属を潤滑皮膜として用いることで、ある程度の耐凝着性向上効果を期待できるが、単純な金属系では50 nmといった極薄膜では満足できるレベルには届かないことが分かった。さらに、高融点金属の被覆に酸素を複合化させることにより、極薄皮膜でありながら耐凝着性を大きく改善できることを見出した。

### 3.2 プレス油との親和性向上

GAと開発品に対し、防錆油を用いて平板摺動試験を行った時の引き抜き荷重チャートをFig. 3に示す。この図で、(a)は極圧添加剤の入っていないベースオイルを用いて測定した結果を、(b)は極圧添加剤を含有する防錆油を用いて測定した結果を示す。このように、GANはGAに比べてどちらの油を使用しても引き抜き荷重が低い結

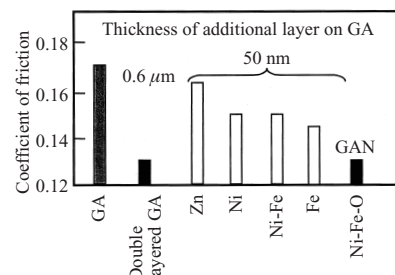


Fig. 2 Improvement of friction property by additional layer on GA

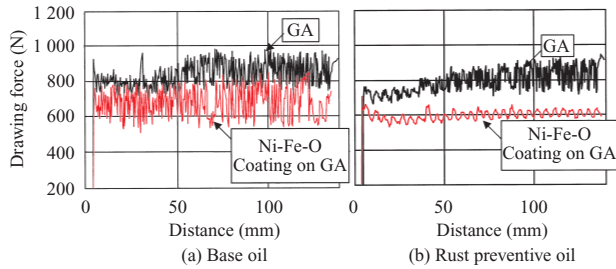


Fig. 3 Change in drawing force during measurement of friction coefficient

果となった。これは高融点である Ni-Fe-O 系無機化合物の被覆により耐凝着性が向上したためと考えられる。また、引き抜き荷重の変動幅に関して、ベース油では GAN, GA 間で差はほとんど認められず、一方、防錆油では GAN の振動幅が GA に比べ減少していることが分かった。森らは、有機硫黄化合物と各種遷移金属新生面との化学的親和性を比較し、Ni の吸着活性が高いことを示している<sup>6)</sup>。このことから、ここで観察された防錆油を使用した時だけに GAN で振動幅が減少する現象は以下のように考えられる。すなわち、潤滑皮膜中の Ni の存在により、潤滑油中の極圧添加剤の反応性が上昇（プレス油との親和性が向上）する。これにより、プレス時に生じる新生面に極圧添加剤が吸着して金属金属接触部の剪断力が低下することで説明できるものと考えている。

### 3.3 スポット溶接性・接着性

Fig. 4 に GA, ならびにその連続打点試験を行った結果を示す。ナゲット径が  $4t$  ( $t$  は板厚) の値を下回ると十分な接合継ぎ手強度が得られないことから、この点を電極寿命とした。GA の電極寿命は約 2 500 点であるが、GAN では電極寿命が約 2 倍に増加していることが分かる。亜鉛めっき鋼板溶接時の電極の損耗は、通電加熱中に電極の Cu が溶融した Zn と反応し脆い Cu-Zn 合金を生成し、はがれることが原因である。Photo 1 には GA ならびに GAN, それぞれの 2 500 打点後の電極断面を示す。このように、GA では Cu-Zn 合金の脱離により電極先端が凹んでいるのに対し、GAN では電極先端が平坦であることが分かる。これは、Ni の存在により Cu-Zn 合金の生成・脱離が抑制されたためと考えられ、これにより、GA に比べ、GAN では電極寿命が約 2 倍になったものと推定される<sup>7)</sup>。

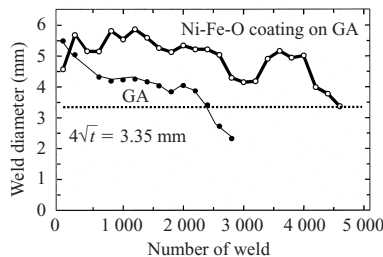


Fig. 4 Change in weld diameter during consecutive spot welding

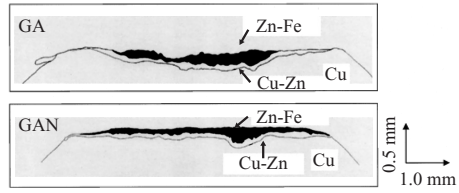


Photo 1 Cross section of electrode after consecutive spot welding test (2 500 times)

	Appearance of adhesive layer after T peel test	Peel strength (kg/25 mm)
GA		10.8
Ni coating on GA		9.0
Ni-Fe coating on GA		11.3

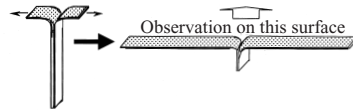


Photo 2 Change in adhesive strength made by metal layer applied on GA

自動車車体には、シーラーと呼ばれる接着剤が多用されており、接着性に配慮する必要がある。Photo 2 は代表的な接着剤を用いて、低めの焼付け温度により接着剤を硬化させて、Tピール試験を行った結果である。純 Ni 皮膜を施した場合には、接着剤と鋼板表面の接着界面ではくり（黒色部分）が生じ、接着強度が低下した。そこで、Ni-Fe 合金を被覆したところ、接着界面での剥離は無くなり良好な接着性を示し、GA と比較しても接着強度が上昇する結果となった。このように、Fe の複合化が接着性の向上に有効であることが示された。

### 3.4 まとめ

以上の検討結果に基づき、無機系潤滑皮膜として Ni-Fe-O 複合皮膜を開発した。これは、プレス加工時の耐凝着性改善には Fe, Ni および O が、プレス油との親和性向上とスポット溶接性向上には Ni が、接着性向上には Fe がそれぞれ役割を担っている複合型潤滑皮膜である。

## 4. 開発品の実用特性

### 4.1 実プレス成形性

同一の機械的特性値を有する GA をベースとして、2 層めっき材ならびに開発品の Ni-Fe-O 系無機皮膜被覆材を実機製造し、実プレス成形試験を行った。実部品スケールのフロントフェンダーモデル金型を使用し、1 200 t シングルアクションメカニカルプレス機にて 10 ストローク / min の速度で成形した。プレス時のクッション力を変化させて

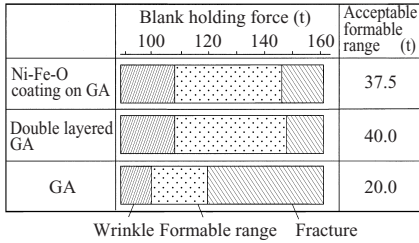


Fig. 5 Improvement of press-formability by Ni-Fe-O coating on GA (fender model), 270 MPa-IF steel

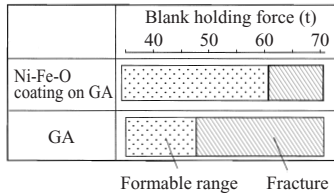


Fig. 6 Improvement of press-formability by Ni-Fe-O coating on GA (center pillar), 440 MPa-high strength steel

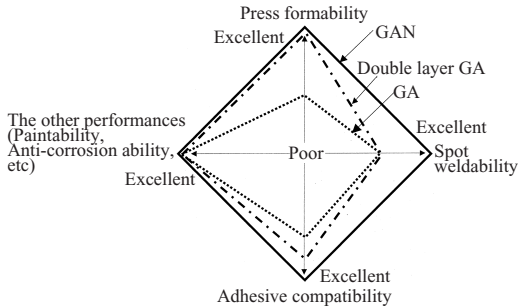


Fig. 7 Total performances of GAN in comparison with GA and double layered GA

試験し、成形部品における割れおよびしわの発生状況を評価した。割れ、しわがともに発生しない成形可能範囲が広いほどプレス成形性が良好である。Fig. 5 に各供試材の成形可能範囲を示す。GAN は、2 層めっきと同等の良好なプレス成形性を有することが分かる。

Fig. 6 には、同様の実プレス機を用い、センターピラーモデル金型を使用して 440 MPa 級高張力 GA 鋼板のプレス実験を行った結果を示す。このように、使用比率が大きく増加してきている高張力鋼板に対しても Ni-Fe-O 系皮膜は大きな効果を有していることが示された。

#### 4.2 GAN の総合特性

Fig. 7 に GAN の総合特性を GA および 2 層 GA と比較して示す。GAN は、2 層 GA と同等の良好な潤滑性を極薄潤滑皮膜で達成し、低コストで製造可能である。さらに、スポット溶接性および接着剤適合性は向上しており、耐食性、塗装性などその他の特性は、GA と同等である。

#### 5. 有機系固形潤滑処理技術<sup>5)</sup>

GAN は 2 層 GA と同等の摺動特性を付与し、しわ、割

れの発生しない成形可能範囲を実用上、まったく問題のない範囲まで拡大することを目的とした潤滑技術である。潤滑技術としては、さらに高い摺動性を付与する技術の開発にも成功している。本鋼板は、より複雑で厳しいプレス成形を可能にすることを目的として開発されている。本潤滑皮膜は、有機樹脂の  $T_g$  (ガラス転移温度) 上昇による皮膜の強硬化、およびリン酸亜鉛とポリエチレンワックス添加により、潤滑性向上と型かじり性向上が達成された技術であり、プレス成形後のアルカリ脱脂工程でプレス油とともに溶解・脱膜するアルカリ可溶性潤滑皮膜である。これは、前述の GA だけでなく、熱延鋼板のプレス加工に対しても大きな効果を発揮しうる技術である。

#### 6. 結言

自動車パネルの大型一体成形、高張力鋼板の採用拡大などにより、自動車用防錆鋼板である合金化溶融亜鉛めっき鋼板に対し、非常に良好なプレス成形性が求められている。

- (1) GAN はこのニーズに応えるために開発された合金化亜鉛めっき上に Ni-Fe-O 極薄潤滑皮膜 (50 nm) を付与した高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板である。
- (2) 本開発品は、優れた摺動特性を有しており、2 層 GA と同等の優れたプレス成形性を有している。
- (3) 本開発品は、プレス成形性以外にも自動車用パネルに求められるスポット溶接性、接着性の改善もなされており、GA、2 層 GA と比べ、多様なユーザーに高いレベルで満足いただける材料である。
- (4) 2 層 GA を超える、優れた摺動性を有した有機系固形潤滑技術の開発を実施し、極めて成形が困難な部品のプレス性付与に成功している。

#### 参考文献

- 1) 中村真一郎．第 143 回塑性加工シンポジウム．1992，p. 61．
- 2) 櫻井理孝ら．材料とプロセス．vol. 9，no. 5，6，1996，p. 1295．
- 3) Sakurai, M. et al. SAE Technical Paper, 970718.
- 4) Sakurai, M. et al. 4th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet, Galvatech'98, 1998, p. 620. the Iron and Steel Inst. of Jpn.
- 5) 樋貝和彦ほか．川崎製鉄技報．vol. 34，no. 2，2002，p. 71．
- 6) 森誠一．第 156 回塑性加工シンポジウム．1994，p. 45．
- 7) 松田広志ほか．材料とプロセス．vol. 12，no. 6，1999，p. 1345．



杉本 芳春



櫻井 理孝



加藤 千昭