

受賞技術-2

ナノ表面制御による自動車用高機能鋼板の開発

Development of Galvannealed Steel Sheet having Modified Surface of Nanometer-scale

平章一郎
Shoichiro Taira

JFEスチール(株) スチール研究所
主任研究員

1 緒言

合金化溶融亜鉛めっき鋼板(以下GAと称す)は、鋼板を460℃程度の溶融亜鉛浴に浸漬し加熱合金化することで、10%程度のFeを含有するFe-Zn合金を表面に形成したものであり、1980年代後半より自動車用防錆鋼板として使用されるようになった。当初は、カチオン電着塗装性とプレス性能の向上のために、上層にFe-Zn電気めっき層を付与した二層めっき型GAが主流であったが、塗装技術の進歩とともに二層めっき型GAの必要性はなくなった。一方1990年代後半から、プレス性能を改善した潤滑GAの開発を開始し¹⁻⁴⁾、自動車メーカーでの採用が始まっていった。さらに2000年に入ると、自動車性能だけでなく、環境(軽量化、環境負荷物質フリー)、生産効率、グローバル化が重要なキーワードとなり、「環境にやさしく、かつより使いやすいGA」への要望が自動車メーカーで高まっていった。

このような背景の中、優れたプレス成形性、溶接性(耐スパッタ付着性)、化成処理性、さらに優れたグローバル製造性を満足する新規の自動車用高機能鋼板を開発・実用化した。この商品はJAZ(JFE Advanced Zinc)の商標名で、現在では国内全自動車メーカーで使用されているものであり、平成21年度第56回大河内記念生産賞を受賞した。本稿では、本技術の設計思想や特性について概説する。

2 開発の内容

2.1 自動車用高機能鋼板に必要な特性

自動車の製造工程は、「鋼板のプレス成形」→「溶接・車体組立」→「塗装」→「艤装・最終組立」に分類される。この工程の中で、

- ①プレス割れなどのトラブルがなく、複雑形状部品が安定的にプレス可能である。
- ②スポット溶接時に、火花状に飛散した溶融鉄粒子が鋼板に付着(スパッタ付着)しにくい。
- ③塗装下地処理である化成処理結晶が均一に生成し、かつカチオン電着塗装後の外観が美麗である。

ことなどが、自動車用高機能鋼板に要求される。

(1) プレス成形性

図1は、簡易的なプレス成形の工程を示したものである。すなわち、材料を投入後、ダイでしわ押さえ力を付加した状態で、パンチを押し込むことで所要の形状に成形できる。このパンチで押し込む際に、材料自体の変形とダイ側からの材料の流入を調整することで、目標の形状や寸法の成形品を得る。この時、材料と金型との間で発生する摩擦係数が高いと、割れが発生しやすくなるため、GA表面の摩擦係数を低くすることがプレス成形性の安定のためには有効である。

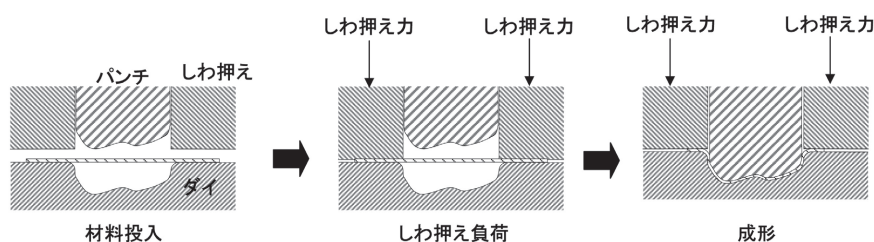


図1 プレス成形の工程模式図

(2) スポット溶接性

自動車製造において最も多く使用される抵抗スポット溶接は、二つの水冷電極により銅板を挟み込んだ後に通電させ、ジュール発熱を利用して銅板間に溶融部（ナゲット）を形成させる溶接法であり、車体1台当たりで3000～6000点もの溶接が施される。実際のスポット溶接工程では、十分な溶融部を確保するため溶接電流は高めに設定されることが多く、この場合には溶接スパッタが発生し、銅板表面には直径1mm以下の溶融した鉄粒子が付着する。この現象を一般的にスパッタ付着と呼ぶが、特に自動車外板へのスパッタ付着は、塗装後外観を劣化させるため大きな問題となる。

(3) 塗装性（化成処理性）

塗装工程においては、まず塗装下地処理としての化成処理が施される。化成処理では、GA表面のZnが溶解し、その後の反応が進行することで10 μ m程度のサイズのリン酸亜鉛結晶が緻密に形成される。この後に、カチオン電着塗装が施されるが、塗料が針状のリン酸亜鉛結晶の間に入り込むため、アンカー的効果により塗膜密着性が得られる。すなわち、自動車用銅板には、化成処理皮膜が均一に形成されなければならない。

2.2 表面改質技術の開発

一般的に、GA銅板のプレス成形性は、銅板の機械特性（伸び、r値、n値など）や使用される潤滑油の種類だけでなく、めっき表面の摺動特性により支配される⁵⁾。これまでのGA銅板は、めっき相構造を加熱合金化処理によりコントロールする考え方や、潤滑皮膜を付与する考え方が主流であったが、本開発では、めっき最表層の状態の改質に取り組んだ。開発した改質技術は以下2点のようにまとめることができる。

(1) 高融点のZn系化合物

プレス金型とGA銅板表面の反応性を低くし凝着を抑制す

るために表面を高融点化させることは有効である。この考え方は、溶接スパッタ付着抑制にも有効である。また、めっき層に含まれるZnをベースに考えることは環境負荷物質フリーの考え方にも合致する。

(2) 独自の表面構造設計

プレス成形時には、油切れによるトラブルが考えられることから、潤滑油を効率的に保持することは有効である。

2.3 本技術の特性

2.3.1 摺動特性評価結果

自動車部品は形状が複雑であるため、部品の種類や、また同一部品内においても部位により摺動条件が異なる。図2は、代表的な自動車部品について、実際のプレス成形における、各部位での面圧や摺動速度を図示したものであるが、摺動条件は大きく3つに分けられる。1つめは、材料の流入を左右する高面圧で摺動速度も速い摩擦係数（ここではA条件と称する）である。2つめは、パンチ肩での材料の動きを左右する比較的low面圧で摺動速度が遅い摩擦係数（B条件と称する）である。さらに、パンチ底で材料と金型の接触により材料が動き始める際の摺動を示す面圧が非常に低くかつ摺動速度も非常に遅い摩擦係数（C条件と称する）がある。実際のプレス成形は、このような摺動条件の組み合わせで材料の摺動が発生するため、想定される摺動条件範囲で十分な摺動性を発揮できるか評価を行う必要がある。

図3は、一般GA、従来の潤滑GAとともに、本開発品の各摺動条件での摩擦係数を示したものである。図より、開発品の摩擦係数は、いずれの摺動条件下においても従来潤滑GAよりも低く安定していることが分かる。特に、本開発品のC条件摩擦係数が、従来の潤滑GAよりも大きく改善されていることが特徴である。

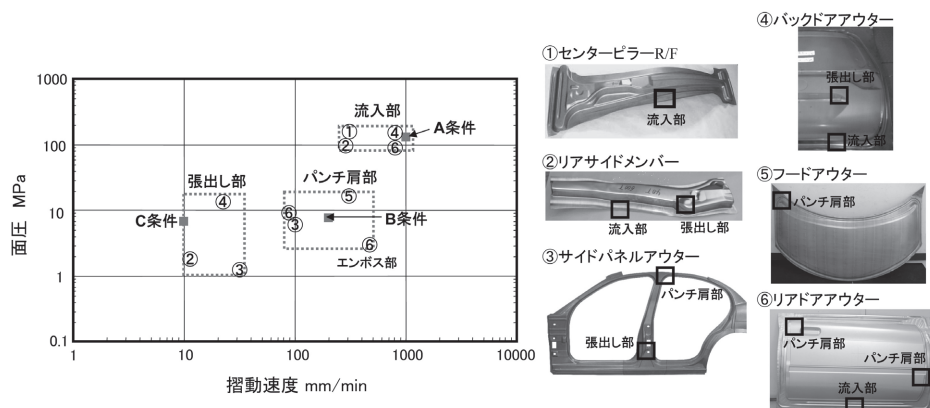


図2 代表的な自動車部品のプレス成形における摺動条件

2.3.2 実部品スケールでの成形性評価結果

図4に、実部品スケールのフロントフェンダーモデル金型にて成形性評価実験を実施した結果を示した。ここでは、強度一定でr値が異なる材料の開発品と一般のGAに対して、しわおよび割れが発生するしわ押さえの限界について調査した。図より、r値が大きくなると、しわ限界のしわ押さえ力が低下し、割れ限界のしわ押さえ力が増加するため、結果的に成形可能なしわ押さえ力の範囲が増加することが分かる。一方、r値が同じ場合で比較すると、開発品の成形可能なしわ押さえ力の範囲はGAより大幅に増加していることが分かる。このことは、本開発品のプレス成形性能が優れていることを示すものであり、本開発品ではr値が低い材料でもプレスが容易になる効果が得られる。これはr値に換算すると約0.3の効果に相当する。

2.3.3 スポット溶接性評価結果

図5に、本開発品と一般GAについて、スポット溶接時の溶接電流適正範囲と、電極寿命の評価結果について示す。図より、本開発品の溶接電流適正範囲ならびに電極寿命は、

一般GAと同程度であることが分かる。このことは、従来材と同じ溶接条件でのスポット溶接が可能であり、また実際の連続溶接においても電極の劣化や損耗に差がないことを示しており、開発品の適用にあたって新たな設備負担が生じないことを示している。

また、2枚に重ねた冷延鋼板を治具により拘束し、スポット溶接することで図6の写真のようなスパッタを発生させ、一定の位置に配置した場合のスパッタ付着個数の比較を行った。図より、本開発品は、一般のGAより単位面積当たりのスパッタ付着個数が約半分以下に低下しており、耐スパッタ付着性にも優れていることが明らかになった⁶⁾。

2.4 本開発品のまとめ

本開発品の特徴などを総括して表1に示す。本開発品は、①環境調和型、②高度な品質特性、③グローバル製造性を同時に満足した高機能自動車用鋼板であり、独自の改質層設計と、新たな発想による改質技術の両独創技術により完成した、日本発信のグローバル技術である。

3 成果

(1) 自動車用鋼板の高機能化

潤滑性の向上により、従来では成形が非常に困難であった部品の成形が可能になり、部品形状の自由度が格段に向上したことや、従来では成形後に溶接していた大型部品を一体で成形できるようになった効果がある。このことは、プレスト

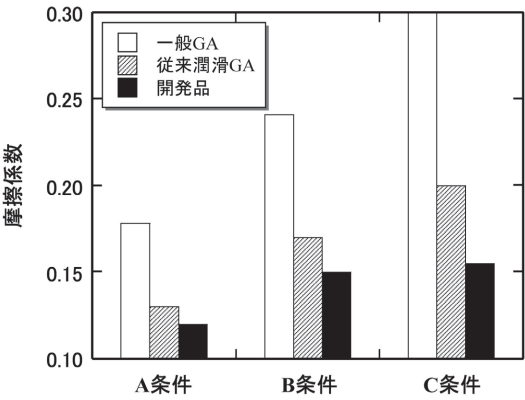


図3 開発品、一般GA、従来潤滑GAの摩擦係数の比較

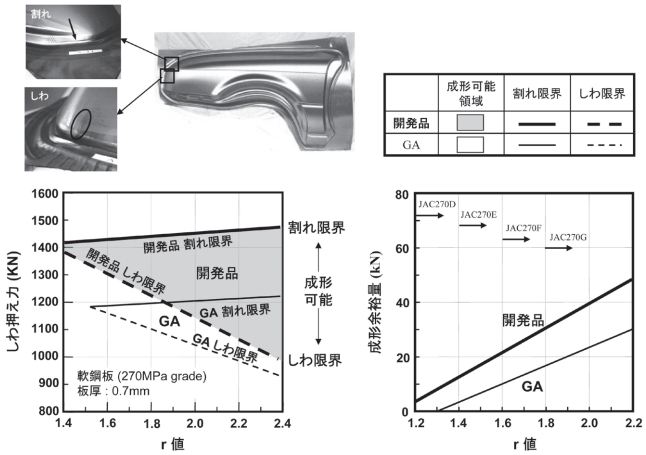


図4 実部品スケールモデルによる成形性評価結果

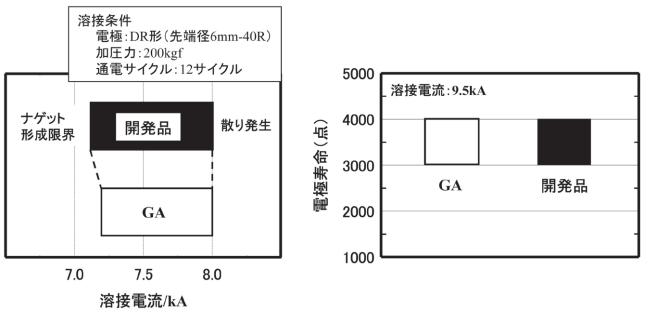


図5 スポット溶接性(適正電流範囲、電極寿命)の評価結果

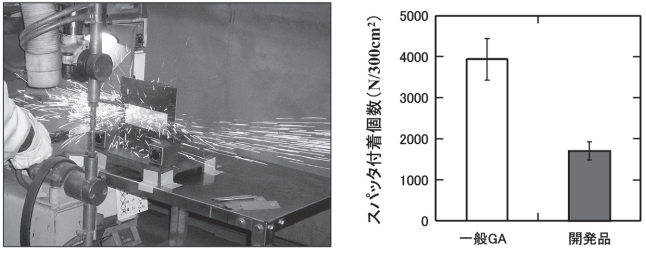


図6 スポット溶接でのスパッタ発生の様子とスパッタ付着個数の比較

ラブルの撲滅のみならず、鋼板の板厚削減や溶接部の板のラップ代削減などにより車体の軽量化にも寄与したことを示している。

さらに、本開発品の耐スパッタ付着性に優れている点は、スパッタ拭き取り時間や付着防止剤の削減に効果があり、車体製造における工数削減に寄与した。

(2) 地球環境にやさしくするまづくりへの貢献

従来の潤滑皮膜のような水質汚染物質や重金属を含まないことから、これらの物質の削減に寄与した。今後の使用量増加により、さらに効果が見込まれる。

(3) グローバル供給能力向上

本開発品は、連続溶融亜鉛めっきライン (CGL) において、亜鉛浴への浸漬→合金化処理後のインラインでの表面改質により製造され、JFE スチールの東西製鉄所の4ラインでの実生産を2005年より開始した。さらに、2007年には、中国や欧州での技術供与も完了し、早期に海外生産を達成した。このような日本発信の最新技術の海外展開により、国内外での自動車製造工程において、同一の設計、同一の自動車製造工程の採用を可能にした。

4 展望

近年では、自動車の衝突安全性の向上、CO₂排出量の低減や低燃費のための軽量化が進められ、自動車メーカーでは積極的な高強度鋼板の採用を、また鉄鋼メーカーでは、従来にない高強度鋼板の開発・量産化を進めている。高強度鋼板は、成形性に影響する材料特性値、例えば絞り性の指標となるr値が低下し、プレス成形性が低下することが知られている。このような高強度鋼板のGAに対しても、本開発品は、図7に示すように、実験室スケールでの成形性向上効果が認められており⁷⁾、鋼板の強度増加にともなう材料特性値の低下を補完できることが期待できる。

今後、このように本技術を高強度鋼板に適用することによって、自動車の衝突安全性、および車体軽量化によるCO₂

削減を促進し、自動車メーカーの環境経営に貢献することが期待される。

5 結言

国内の主要な自動車用防錆鋼板であるGAについて、潤滑性をはじめとする機能の向上を達成したJFE スチールの商品JAZについて紹介した。この商品は、従来の潤滑GAのように、上層に皮膜を付与するものではなく、亜鉛めっき鋼板表面の改質技術の完成により、これまでとは全く異なる視点でGAの高機能化を達成したものである。一方で、自動車の製造工程も、工程省略や低コスト化が進行しており、我々鉄鋼メーカーとしても、製造工程の変化にともなったGAをタイムリーに開発していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) M.Sakurai, Y.Yamasaki, S.Hashimoto, S.Inoue, A.Hiraya, T.Urakawa and J.Inagaki: Proceedings of the 4th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH 98), (1998), 620.
- 2) 杉本芳春, 櫻井理孝, 加藤千昭: JFE 技報, 4 (2004), 44.
- 3) 中島清次, 片桐知克, 加藤千昭: 川崎製鉄技報, 34 (2002), 76.
- 4) 中島清次, 飛山洋一, 加藤千昭: CAMP-ISIJ, 16 (2003), 532.
- 5) S.Taira, M.Sakurai, Y.Yamasaki, Y.Sugimoto, J.Inagaki and M.Yamashita: 44th MWSP Conference Proceedings, (2002), 1263.
- 6) 星野克弥, 多田雅彦, 窪田隆広, 池田倫正, 藤田栄, 平章一郎, 吉見直人, 杉本芳春: 自動車技術会 学術講演会前刷集, 102-09 (2009), 9.
- 7) 星野克弥, 多田雅彦, 窪田隆広, 山崎雄司, 樋貝和彦, 藤田栄, 平章一郎, 吉見直人, 杉本芳春: 自動車技術会 学術講演会前刷集, 102-09 (2009), 5.

(2010年8月30日受付)

表1 本開発技術と従来技術の比較

項目	本開発の高機能鋼板	潤滑皮膜GA
高機能化 (特性、環境)	プレス成形性 (動摩擦係数)	○
	プレス成形性 (静止摩擦係数)	△
	スポット溶接性 (耐スパッタ性)	×
	化成処理性	×～○
	環境適合性	重金属フリー 水質汚染物質フリー
		重金属含有

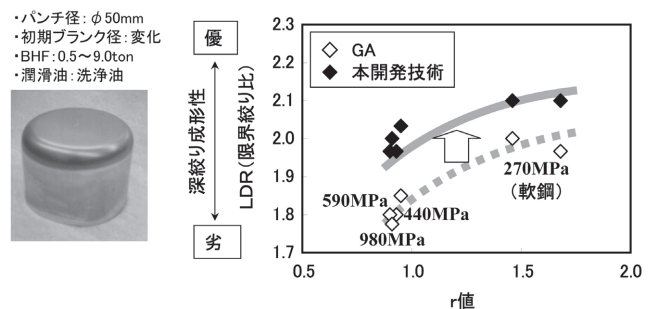


図7 高強度GA鋼板の絞り成形性に及ぼす本技術の効果(ラボスケール成形試験)