

自動車車体の優れた意匠性を実現する 表面改質溶融亜鉛めっき鋼板 “GI JAZ^{®†}” の開発

星野克弥¹⁾ 平 章一郎²⁾ 飯塚栄治³⁾
新宮豊久³⁾ 荻原裕樹³⁾ 谷口公一⁴⁾

1. はじめに

道路凍結防止を目的とした融雪塩散布が自動車車体の腐食を引き起こし、1970年代に社会問題として顕在化した。これらの対策として、1970年代後半から Zn 系めっき鋼板が車体に本格的に採用されるようになった⁽¹⁾。現在では、鋼板に溶融 Zn めっきをした後に下地鋼と合金化する合金化溶融 Zn めっき鋼板(GA)や、合金化処理を施さない溶融 Zn めっき鋼板(GI)が防錆鋼板として主に使用されている。

GIはGAと比較してめっき層を厚く形成する事が容易で、高い耐食性が必要な部品に適している。一方、GIのめっき層は約0.2 mass%のAlを含有するη-Zn相であり、Fe-Zn金属間化合物を主体とするGAのめっき層よりも軟質で低融点である。そのためGIはGAと比較して金型との凝着性が高く、プレス成形時に割れやシワの発生しやすさに影響する摩擦係数が高い。さらに、金型に凝着したZnの剥離片が軟質なGI表面にすり傷を生じさせる型カジリが発生しやすく、外観品質が損なわれることがある。また、抵抗スポット溶接で、溶融金属(ナゲット)の一部が飛散する散り(スパッタ)が、低融点のGI表面に付着し易く、同様に外観品質を損なう場合がある。そのため、GIが適用可能な形状や部位は限定的で、特に外板パネル部品に適用する場合は、意匠性の高い複雑形状を避けるなど、これらの不具合を最小限に留める必要があった。

これらの課題を解決するため、JFE スチールでは極最表

層を改質した新しい自動車用GI “GI JAZ[®]”を開発した。当社で開発したGI JAZ[®]は、GIが有する高融点の自然Al系酸化物による潤滑効果に着目し、この潤滑機構を発展させることで、他の特性を阻害しないナノスケールオーダーの極薄膜でも優れたプレス成形性(割れやシワ発生の抑止と耐型カジリ性の向上)を発現することに成功した。同時に、高融点の表面改質層によって、スポット溶接時の鋼板への散り付着も抑制でき、開発したGI JAZ[®]は、高耐食性を有するGIを意匠性が高い複雑形状部品にも適用可能とした。GI JAZ[®]は2015年の初採用以降、欧米系自動車メーカーを中心に多くの部品に採用され、生産量を伸ばしている。

2. 表面改質層の設計指針

著者らは、表面改質層の設計にあたり、まず従来のGI表層について詳細に解析したところ、従来知られているGI表層の薄い自然Al系酸化物が、製造からの経過時間の増加によって、成長することを発見した。このAl系酸化物は、GIのZnめっき層に含有されるAlが、Znめっきの結晶粒界を拡散し、表面に酸化物として形成したものである⁽²⁾。製造直後及び125日経過後のGI表層のSEM像及びEPMA分析結果を図1に示す。125日後のGI表層にはAl系酸化物が形成されていることが分かる。この現象によって表層にAl系酸化物を形成したGI(125日放置)と、表層にAl系酸化物が無いGI(製造直後)の摩擦係数を測定した結果を図2⁽³⁾⁽⁴⁾に示す。摩擦係数は、実自動車部品のプレス成形を模擬した2つの条件(条件Aと条件B)で測定した。Al系酸化物の存在により、工具長の短い条件Aでは摩擦係数が顕著に低下するのに対し、工具長の長い条件Bでは摩擦係数の低下は小さい。摺動後の工具表面を観察すると、GI表層のAl系酸化物は摺動によって剥ぎ取られ、工具表面に付着することが確認できる⁽³⁾⁽⁴⁾。従って、GI表層のAl系酸化物が工具表面に付着することで、凝着性の高いGIのZnめっき層と工具表面の直接接触を抑制し、且つ工具表面の初期粗さを平滑化することで、潤滑性を向上させるものと考えられる⁽³⁾⁽⁴⁾。GI

* JFE スチール(株)スチール研究所

1)表面処理研究部；主任研究員，2)表面処理研究部長，3)薄板加工技術研究部；主任研究員，4)接合・強度研究部；主任研究員

Development of Surface Modified Hot-dip Galvanized Steel Sheets “GI JAZ[®]” Contributing to Excellent Design of Automotive Body; Katsuya Hoshino*, Shoichiro Taira*, Eiji Iizuka*, Toyohisa Shinmiya*, Yuki Ogihara* and Koichi Taniguchi* (*JFE Steel Corporation, Steel Research Laboratory)

† GI JAZ は JFE スチールの登録商標である。

2020年10月20日受理[doi:10.2320/materia.60.48]

表層の Al 系酸化物は、主に調質圧延ロールとの接触によって生じた高密度結晶粒界を拡散した Al で形成されることから⁽²⁾、形成領域は不均一(形成面積率約50%)である(図 1)。そのため工具長の長い条件 B では、単位面積当たりの工具表面への Al 系酸化物の付着が少なく、十分な潤滑効果が得られない。

以上の結果は、GI 表層の薄い Al 系酸化物による潤滑機構を発展させることは、薄膜でも優れた潤滑効果を有する表面改質層の開発に有効である事を示唆している。また、工具表面に酸化物を付着させることは、工具への Zn の凝着も抑制できることから、Zn の凝着を起点に生じる型カジリの抑制にも効果を有すると言える。更に、酸化物のような高融点の物質で GI 表層を被覆することは、熔融金属である溶接時の散りの付着抑制にも有効である⁽⁵⁾。

これらの知見に基づき、GI 表層全面を被覆する改質層(被覆率100%)が摺動時に工具表面に付着し、且つ表層が高融点となるように GI 表面の組成と構造を改質した。ここで、

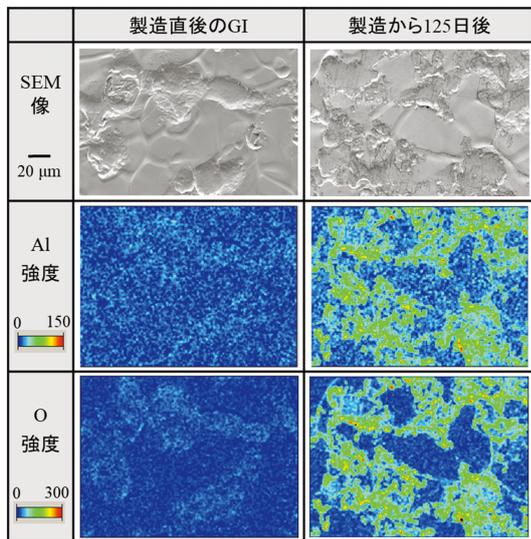


図 1 経時によって GI 表層に生じる自然 Al 系酸化物⁽³⁾⁽⁴⁾。

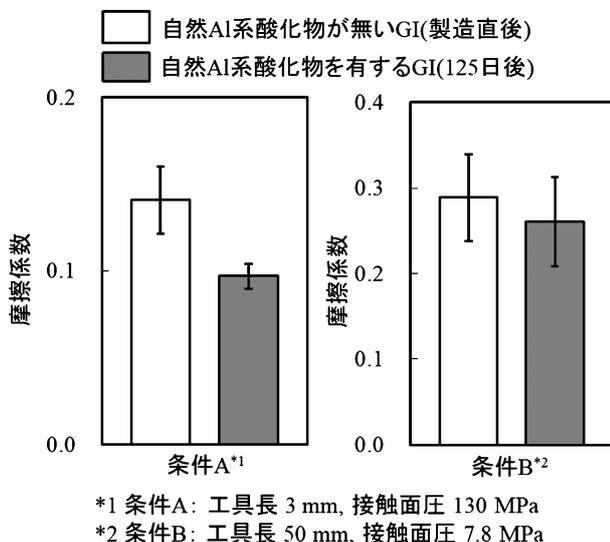


図 2 従来の GI の潤滑性に影響する自然 Al 系酸化物⁽³⁾⁽⁴⁾。

自動車の塗装前処工程においてリン酸 Zn 処理に悪影響しないよう、表面改質層の主成分はリン酸 Zn 処理を阻害しない Zn 主体となるように設計した。

3. GI JAZ[®] の特徴

開発材である GI JAZ[®] の摩擦係数を、先述の工具長の長い条件 B で測定した結果を図 3⁽⁶⁾⁽⁷⁾ に示す。GI JAZ[®] は、従来の GI より摩擦係数が低く、潤滑性に優れている。摺動後の工具を SEM で観察した結果を図 4⁽⁷⁾ に示す。GI JAZ[®] を摺動した後の工具表面には、暗いコントラストの表面改質層成分の付着が認められ、これが Zn の凝着を抑制し、さらに工具表面を平滑化することで、薄膜でも優れた潤滑性を発現している。工具表面に付着することによって優れた潤滑性を発現する点は、GA を下地としてこれまでに開発された多くの潤滑皮膜⁽⁸⁾ の考え方と全く異なっている。

次に、意匠性が高く、且つ難成形自動車部品の一つであるフロントフェンダーで、実スケールプレス成形性を評価した。結果を図 5 に示す⁽⁹⁾。GI JAZ[®] は従来の GI と比較して、割れやしわの発生しない成形可能範囲が拡大しており、優れた潤滑性によってプレス成形性が向上したことを示している。

また、軟質のめっき層を有する GI の課題である耐型カジリ性についても評価した。肩の曲率半径が 10 mm のダイを用いて、供試材を高さ 70 mm のハット形状に連続で絞り成形した。なお、型カジリ発生促進のため、成形は無塗油状態

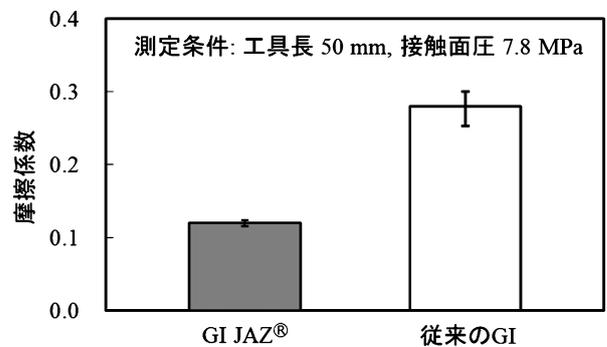
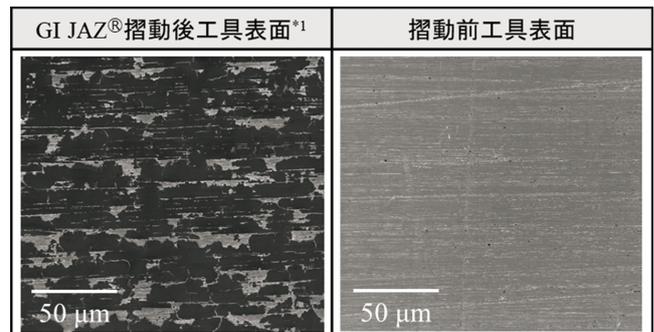
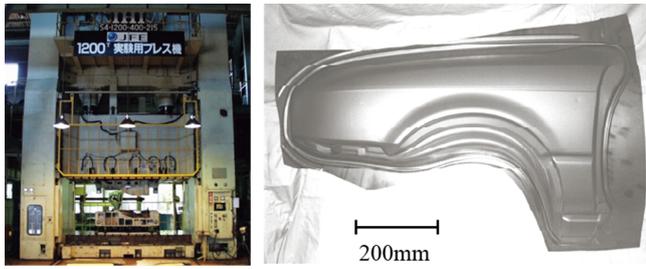


図 3 開発材の優れた摩擦係数⁽⁶⁾⁽⁷⁾。



*1: 暗いコントラストが工具に付着した表面改質層成分
図の下から上が工具の移動方向、インレンズ検出器で観察

図 4 摺動後の工具表面に付着する表面改質層成分⁽⁷⁾。



(a) プレス機の外観 (b) フロントフェンダーモデル部品

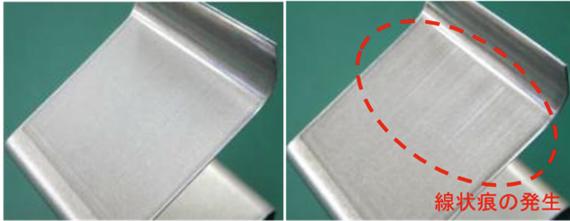
		Blank holding force (ton)									
		100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
GI JAZ [®]		しわ			成形可					割れ	
従来のGI		しわ	成形可		割れ						

(c) プレス成形性評価結果

図5 開発材の優れたプレス成形性⁽⁹⁾.

		連続成形枚数									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GI JAZ [®]		成形可							型カジリ		
従来のGI		成形可		型カジリ			割れ				

(a) 連続プレス評価結果



(b) GI JAZ[®]:6枚目 (c) 従来のGI :6枚目
無塗油条件による促進試験

図6 開発材の優れた耐型カジリ性.

で実施した。ダイ肩で摺動を受ける成形品の縦壁部に型カジリによって生じた線状痕を観察した結果を図6に示す。従来のGIは4枚目で型カジリによる線状痕が確認できるのに対し、GI JAZ[®]は7枚成形しても線状痕は認められない。GI JAZ[®]は、表面改質層が工具表面に付着して潤滑効果を発現する機構を活用したことで、優れた耐型カジリ性を実現している。

一方、GIのめっき層が低融点のため課題となる耐散り付着性については、一定条件でスポット溶接を行い、発生させた散りを供試材に付着させることで評価した。供試材に付着した散りの個数をカウントした結果を図7に示す。従来のGIと比較して、GI JAZ[®]に付着した散りは半分以下に減少している。GI JAZ[®]の表面改質層は高融点であるため優れた耐散り付着性を可能にしている。

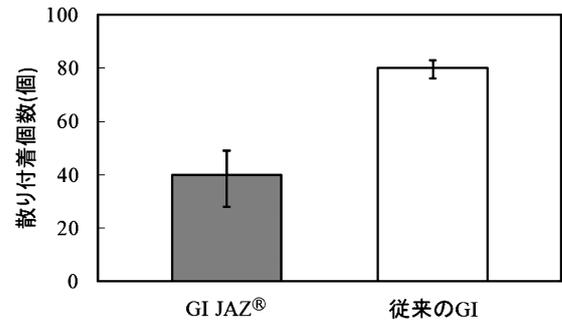


図7 開発材の優れた耐散り(スパッタ)付着性.

4. 実用化状況

開発したGI JAZ[®]は、2015年4月からJFEスチール西日本製鉄所倉敷地区で営業生産を開始し、お客様から高い評価をいただき受注量を大きく伸ばしている。主に、意匠性が高くプレス成形が難しいドアやフェンダー等のパネル系部品で採用され、車体デザインの自由度向上と、厚いめっき層が形成可能なGIの適用可能部位拡大に貢献している。また、既存の溶融Znめっきライン(CGL)への簡易的な設備増強で製造可能であることから、今後国内外の他のCGLでの製造も予定している。

5. 対外発表

本開発に関わる研究はGALVATECH2017⁽⁶⁾、IDDRG2019⁽⁷⁾、鉄鋼協会講演大会⁽¹⁰⁾で発表している。本開発に関わる特許は、例えば特許第5842848号など、国内で10件、米国、欧州、アジア等海外で22件登録されている。

文 献

- (1) 例えば、深田 新：表面技術，**43**(1992)，516-523.
- (2) K. Hoshino, K. Oikawa, W. Tanimoto, M. Nagoshi and M. Koba: ISIJ Int., **60**(2020), 1765-1773.
- (3) 星野克弥, 名越正泰, 谷本 亘, 山崎雄司, 古谷真一, 松崎晃, 吉見直人：鉄と鋼，**102**(2016)，507-516.
- (4) K. Hoshino, M. Nagoshi, W. Tanimoto, Y. Yamasaki, S. Furuya, A. Matsuzaki and N. Yoshimi: ISIJ Int., **57**(2017), 895-904.
- (5) 松田広志, 谷口公一, 星野克弥, 平 章一郎, 池田倫正, 大井健次：溶接学会全国大会講演概要，**93**(2013)，332-333.
- (6) K. Hoshino, S. Furuya, Y. Ogihara, E. Iizuka, K. Hanada, M. Nagoshi, H. Matsuda and Y. Yamasaki: Proc. GALVATECH2017, Tokyo(Japan), ISIJ, 439-444.
- (7) S. Furuya, K. Hoshino, Y. Ogihara, Y. Yamasaki and S. Taira: 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., **651**, 012043.
- (8) 例えば、平 章一郎：ふえらむ，**15**(2010)，702-705.
- (9) 吉田裕美, 星野克弥, 萩原裕樹：JFE 技報，**41**(2018)，28-33.
- (10) 古谷真一, 星野克弥, 萩原裕樹, 新宮豊久, 平 章一郎：CAMP-ISIJ, **31**(2018)，266.