自動車用高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板 「PZA-N」の開発

櫻井理孝¹⁾ 稲垣淳一²⁾ 山崎雄司³⁾
朝長伸一⁴⁾ 小島昌幸⁵⁾

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、電気めっき系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」等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を考慮して、GAの表面にFeリッチ電気めっき処理を施した2層型合金化溶融亜鉛めっき鋼板(2層GA)が開発され、プレス性改善策としてもFeリッチ層の良好な摩擦特性が注目され、外板だけでなく内板にも採用されることとなった⁽¹⁾。

さらに最近、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を敬遠する動きがある一方で、複雑な部品のプレス成形化、大型パネルの一体成形化により、材料にはより一層の良好なプレス加工性が求められていた。

このような状況のもと、プレス加工の際に鋼板表面に塗布されている防錆油や洗浄油の改良が検討されたが、潤滑性に対する面圧や温度依存性が大きいため、成形性が不安定であるという問題点があった。一方、固形皮膜による潤滑性改善方法として、リン酸塩処理等の酸化物系処理⁽²⁾⁻⁽⁴⁾が検討さ

れた。しかしながら、自動車用途として重要な特性であるスポット溶接性の劣化や、シーラー等の接着剤との適合性に劣る等の問題があり、実用化の障害となった。

そこで著者らは、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高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板「PZA-N」を開発⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾実用化した。本論では、開発品の皮膜設計の考え方、品質性能および潤滑性改善機構について述べる。

2. 皮膜設計の考え方

潤滑の状態には、2面間に油等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、低面圧の場合に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、高面圧の場合には、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大きいこと、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、(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、(3)スポット溶接性・接着性向上、を目標に検討を行い、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「PZA-N」を実用化した。

「PZA-N」の皮膜構造と開発コンセプトを図1に示す。

3. 潤滑皮膜の開発

(1) 耐凝着性の改善

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めっきを施した材料について摩擦係数を測定した結果を図2に示す。摩擦係数の測定は、平板摺動試

* NKK

総合材料技術研究所：1)表面処理研究部主任研究員

2)表面処理研究部主査

3)薄板研究部主任研究員

福山製鉄所：4)薄板総括部

本社鉄鋼技術センター：5)表面処理技術開発部部長

Development of "PZA-N" Galvannealed Steel Sheet with High Formability; Michitaka Sakurai, Jun-ichi Inagaki, Yuji Yamasaki, Shin-ichi Tomonaga, Masayuki Kojima(NKK Corporation)

2000年11月2日受理

図1 開発品「PZA-N」の構造と開発コンセプト。

図2 摩擦係数に及ぼす潤滑皮膜厚・種類の影響。
摺動条件： $p=130.4\text{ MPa}$, $v=1.0\text{ m/min}$ 。

験(Flat Sliding Test : FST)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 $3 \times 10\text{ mm}$ (面圧 $=130.4\text{ MPa}$) とパンチ部やしわ押さえ部を想定した $50 \times 10\text{ mm}$ (面圧 $=7.8\text{ MPa}$) の2種類で、材質はSKD11である。

純Zn、純Fe、純Niのめっきを少量被覆することにより、摩擦係数はやや低下したが、膜厚が厚くなると、 $\text{Zn}(\square) > \text{Ni}(\bigcirc) > \text{Ni-Fe}(\blacktriangle) > \text{Fe}(\triangle)$ の順となった。これは、それぞれの金属の融点および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を用いることにより、摩擦係数が低下したものの、目標とする2層GAのレベルには達しなかった。そこで、後述する接着性向上の目的でFeを含有させたNi-Feめっき材($\blacktriangle$)に対し、Oをさらに含有させたNi-Fe-Oめっき材($\bullet$)では、薄い皮膜厚さで摩擦係数は大きく低下した。

以上から、高融点の金属を潤滑皮膜として用いることで、ある程度耐凝着性向上するが、単純な金属系では満足できるレベルには届かないこと、さらに、高融点金属の被覆に加え、酸化膜を付与することにより、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。

(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ときの引抜荷重チャートを図3に示す。開発品では、GA

図3 平板摺動試験における引抜荷重チャート。

図4 電極寿命に及ぼす潤滑皮膜厚・種類の影響。

に比べ、試験時の引抜荷重が低く、さらに、引抜荷重の変動幅が小さくなった。

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⁽⁸⁾。従って上記の現象は、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し、低せん断強さの皮膜が生成しやすいことに起因するものと推定され、プレス油との親和性が向上したものと考えられる。

(3) スポット溶接性・接着性

一般に、リン酸塩処理等の酸化物系の皮膜を被覆した場合には溶接性が劣化することが知られている。図4に同一GA上に開発品の潤滑皮膜とリン酸塩皮膜を被覆し、連続打点試験を行った結果を示す。ナゲット径が $4\sqrt{t}$ (但し、 t は板厚) の値を下回ると所定の接合継ぎ手強度が得られないことから、この点が電極寿命となる。GAの電極寿命は約2500点であるが、開発品では、Ni量の増加に伴い電極寿命が延び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。開発皮膜ではNiの存在がZnとCuの反応を抑制する形となり、電極寿命が伸びるものと推定される。一方、リン酸塩皮膜の場合には、スポット溶接性を劣化させることが判明した。リン酸塩皮膜の場合には、皮膜が絶縁体であるため、通電時にスパークを生じ、電極が劣化するものと推定される。

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

種類	Tピール試験後剥離面	剥離強度 (kg/25mm)
GA		10.8
Ni 被覆		9.0
Ni-Fe 被覆		11.3

図5 接着性に及ぼす被覆金属の影響 [160℃・10分焼付].
(図中黒色部分は鋼板と接着剤の界面剥離).

おり、接着性に配慮する必要がある。図5は代表的な接着剤を用いて、やや弱めの焼付け条件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剥離(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した。Fe-Oの存在により接着性が向上するものと推定される。

以上の検討結果に基づき、Ni-Fe-O系無機潤滑皮膜を開発した。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にはNiが、スポット潤滑性向上にはNiが、接着性向上にはFeおよびOがそれぞれ役割を担っている。

4. 開発品の実用特性

(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、1200TON シングルアクションメカニカルプレス機にて10SPM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試験し、成形部品におけるわれおよびしわの発生状況を評価した。われ、しわが共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。図6に各供試材の成形可能範囲を示す。

開発材は、2層めっきと同等の良好なプレス成形性を有する事がわかる。

(2) 開発品の総合特性

図7に開発品の特性をGAおよび2層GAと比較して示す。開発品は、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、塗装性等のその他の特性は、GAと同等である。

鋼板種類	クッション力(Ton)				成形可能領域 広さ (Ton)
	100	120	140	160	
開発品 PZA-N					37.5
2層めっき					40.0
合金化溶融 亜鉛めっき鋼板					20.0

図6 実プレス試験による成形可能領域。

図7 開発品の総合特性。

5. 適用状況

開発品(PZA-N)は、1996年より営業生産を開始、従来2層めっきを用いていたサイドパネル等の難成形部品に対し適用され、現在、月間約3000トンを生産しており、さらなる拡大が見込まれる。また、この良好な潤滑性によるプレス成形性向上を活用し、成形の難しいハイテン材や軟質材における材質のグレードダウンにも適用され、GAの新たな用途への適用ならびに材料コストの低減に貢献している。

6. 工業所有権

国内特許出願：公開特許特開平 8-158066 ほか40件

海外特許出願：米国登録特許 No. 5849423, 5861218, 他3件

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) 飛山洋一ら：材料とプロセス, 5(1992), p. 1714.
- (3) 鈴木真一ら：材料とプロセス, 6(1993), p. 1545.
- (4) 中野博昭ら：材料とプロセス, 9(1996), p. 519.
- (5) 櫻井孝孝ら：材料とプロセス, 9(1996), p. 1295.
- (6) M. Sakurai *et al.*: SAE Technical Paper 970718.
- (7) M. Sakurai *et al.*: 4th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet, "Galvatech '98" by The Iron and Steel Institute of Japan, (1998), p. 620.
- (8) 森 誠一：第156回塑性加工シンポジウム。(1994), p. 45.