

熱間プレス用亜鉛めっき鋼板 (スミクエンチ Z) の開発

秋岡 幸司* 今井 和仁* 須藤 俊太郎**
市川 正信¹⁾** 尾林 彰²⁾**

1. はじめに

自動車の骨格や構造部材には乗客の安全を確保するために高強度鋼板(ハイテン)が使用されている。近年、地球環境を考慮した車両重量軽量化の流れの中で、自動車用薄鋼板はさらなる高強度化が進み、その適用比率も拡大している。自動車用薄鋼板を使用した高強度の成形品を得る手法の一つに熱間プレス工法がある。この工法は、鋼板をオーステナイト域に加熱した後、プレス成形時に焼き入れを同時に行うことを特徴とする⁽¹⁾。

この熱間プレス工法では、鋼板表面は高温にさらされるため酸化物(スケール)が生成する。この生成した鉄系の酸化スケールは成形品の溶接性や塗装性に影響を与えるため、一般的にはショットブラスト等の脱スケール処理が行われている⁽²⁾。

こうした背景のもと、著者らは脱スケール処理が不要となる亜鉛めっき鋼板を用いた熱間プレス工法を開発した⁽³⁾⁽⁴⁾。本報告では、開発した熱間プレス用亜鉛めっき鋼板の特徴と、自動車用鋼板として必要な諸特性に関して紹介する。

2. 熱間プレス工法の特徴と問題点

熱間プレス工法では鋼板ブランクをオーステナイト域の約900℃に加熱した後、プレス成形を行う。この時、金型への

熱伝導によって鋼板は急冷され、高強度の成形品と成る。このように熱間プレス工法の特徴は成形と焼き入れを同時に行うことであり、良好な成形性と形状凍結性を確保しつつ、高強度の部品を成形できる利点がある。

一方で鋼板表面は高温で酸化され、鉄系スケールが生成する。一般に、成形品の塗装品質および溶接性確保のためにショットブラスト等の脱スケール処理が行われているが、寸法精度の低下等の問題があった。

3. 熱間プレス用亜鉛めっき鋼板(スミクエンチ Z)の特徴

著者らは亜鉛系めっきである合金化溶融亜鉛めっき鋼板をベースとした熱間プレス工法を開発した。鋼板表面の亜鉛めっき層が、熱間プレス工程中での鉄系スケール生成を抑制し、脱スケール処理が省略可能となる(図1参照)。

熱間プレスの加熱過程において、亜鉛めっき層は下地鋼との拡散によって合金化反応が進む。熱間プレス前の亜鉛めっき層の付着量および組成を適切に制御することにより、熱間プレス工程中に所定の機能を有しつつ、熱間プレス後には、表層に犠牲防食性を有する亜鉛を含有した皮膜を形成させる。一方で熱間プレス後の機械特性は下地鋼組成に依存し、

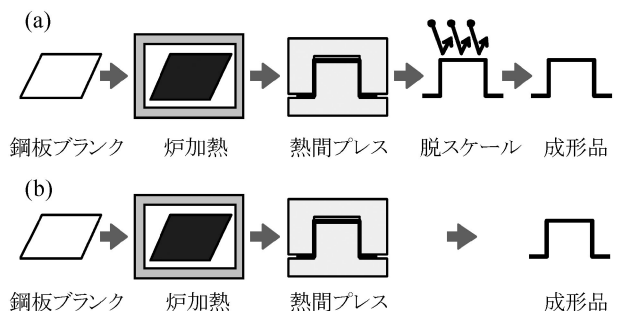


図1 熱間プレス工法の製造プロセス。
(a) 非めっき鋼板の例、(b) 亜鉛めっき鋼板(スミクエンチ Z)の例。

* 住友金属工業株式会社

総合技術研究所 薄板研究開発部 主任研究員

** 豊田自動車研发中心(中国)有限公司

車両技術部材料技術室 主査

*** 豊田鉄工株式会社

開発部 加工技術開発室: 1)室長 2)担当員

Development of Zinc-coated Steel Sheet for Hot Stamping;
Koji Akioka*, Kazuhito Imai*, Shuntaro Sudo**, Masanobu
Ichikawa***, Akira Obayashi***(*Sumitomo Metal Indus-
tries, Ltd. **Toyota Motor Engineering & Manufacturing
(China) Co., Ltd. ***Toyada Iron Works Co., Ltd.)

2011年10月28日受理

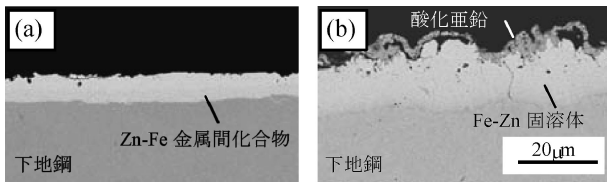


図2 スミクエンチ Z の皮膜断面 BSE 像。
(a) 熱間プレス前, (b) 熱間プレス後。

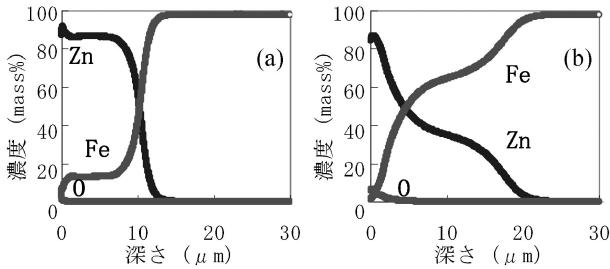


図3 スミクエンチ Z の表層 GDS プロファイル。
(a) 熱間プレス前, (b) 熱間プレス後。

開発した熱間プレス用亜鉛めっき鋼板(スミクエンチ Z)の熱間プレス後の引張強度はおよそ1500 MPa で、降伏強度、および伸びは、非めっきの熱間プレス用鋼板(スミクエンチ)と同等性能を有する。

開発したスミクエンチ Z の特徴は表層の亜鉛めっき層により発現されるため、熱間プレス前後のめっき皮膜構造を紹介する。熱間プレス前後の皮膜断面の反射電子像を図2に、グロー放電発光分析(GDS)による深さ方向の元素分布分析結果を図3に示す。熱間プレス前の亜鉛めっき層は合金化溶解亜鉛めっきをベースとしている。熱間プレス後のスミクエンチ Z の皮膜構造は表層から酸化亜鉛、Fe-Zn 固溶体および下地鋼から形成されている。Fe-Zn 固溶体には Zn が濃度約30~40 mass% で存在するため、下地鋼に比べ卑な電位を示し⁽⁵⁾、犠牲防食性が期待される。またその厚みはおよそ20 μm で、初期めっき皮膜厚みの約2倍となっている。

図4にスミクエンチ Z の熱間プレス後の X 線回折(XRD)結果を示す。解析の結果、表層の ZnO と下地鋼および Fe-Zn 固溶体の3種類のピークと帰属された。Fe-Zn 固溶体は b.c.c. 構造の α-Fe 中に Zn が固溶しているため α-Fe の格子定数が大きくなり、α-Fe ピークの低角側シフトとして観測される。また、鉄系スケールに起因するピークは観察されないことも確認できる。

亜鉛系めっきでは高温でのプレス成形時に、熔融金属存在による液体金属脆性の懸念がある⁽⁶⁾。本開発工法では熱間プレスの加熱時に亜鉛の拡散時間を確保し、高温で存在する熔融金属を消失させることにより、液体金属脆性を回避している。X 線回折結果(図4)からは、低融点の Zn-Fe 金属間化合物および金属 Zn 由来のピークは観測されないため、高温での成形時には表層の酸化亜鉛と固相である Fe-Zn 固溶体のみが存在が示唆される。図5に熱間での90°曲げ試験後の表面観察結果を示す。拡散時間が短い条件では、液体金属脆

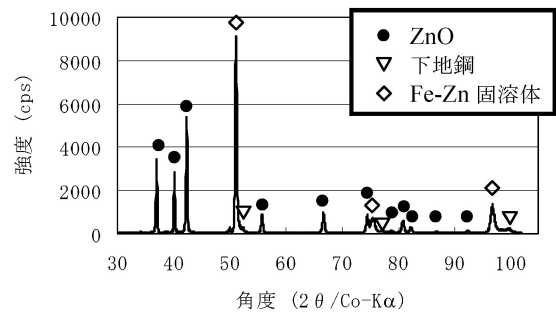


図4 スミクエンチ Z の熱間プレス後の XRD チャート。

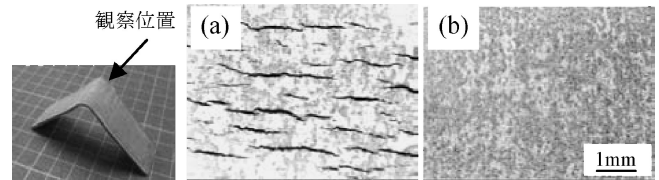


図5 スミクエンチ Z の熱間曲げ試験後の表面像。
(a) 熔融金属残存加熱条件, (b) 最適加熱条件(開発法)

性に起因する表面割れが観察されるが、本開発工法の加熱条件においては表面割れ無く、良好な高温成形性を示す⁽⁷⁾。

以上のように、熱間プレス用鋼板スミクエンチ Z の特徴は、表層の亜鉛めっき層によって鉄系酸化スケール生成を抑制することに加え、熱間プレス後に亜鉛を含有する皮膜が残存することと、高温でも固相状態で成形するため高温成形性に優れることが挙げられる。

4. 熱間プレス亜鉛めっき鋼板(スミクエンチ Z)の諸性能

熱間プレス後の脱スケール処理省略時のスミクエンチ Z の自動車用鋼板に求められる諸特性を紹介する。スポット溶接性を非めっきの熱間プレス鋼板(スミクエンチ; 脱スケール処理後; 図1-(a))と比較した例を図6に示す。溶接電流に対するナゲット形成挙動は非めっきの熱間プレス鋼板と大きな差はない。またスポット溶接部の引張り剪断継ぎ手強度も非めっきの熱間プレス鋼板と同等の特性を示す⁽⁸⁾。

図7に自動車用リン酸亜鉛処理後の化成結晶 SEM 像を示す。スミクエンチ Z の表層に存在する酸化亜鉛はリン酸亜鉛処理工程で残存し、化成結晶は酸化亜鉛の上に緻密に形成される。化成結晶サイズは非加熱の合金化溶解亜鉛めっき軟鋼板と比較するとやや細かいが、大きさは均一でスケも見られず、良好である。また結晶構造的にも GA 軟鋼板上の化成結晶と同様にホパイト結晶が主体となっている。

化成性が良好のため、電着塗装後も良好な塗膜密着性を示す。前述の自動車用リン酸亜鉛処理の後、膜厚20 μm のカチオン電着塗装を施し、塗膜密着性を評価した。電着塗装後及び40°Cのイオン交換水に500時間浸漬後に、塗膜に1mm間隔で基盤目状に傷を付けた後、テープ剥離試験を行った。剥離したテープを図8に示す。電着塗膜の剥離は見られず、

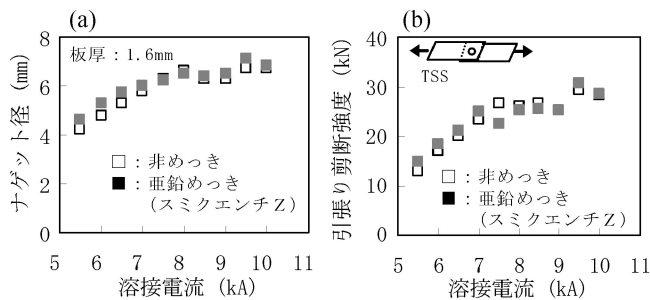


図6 スミクエンチZの溶接性。
(a) ナゲット形成挙動, (b) 溶接部継ぎ手強度。

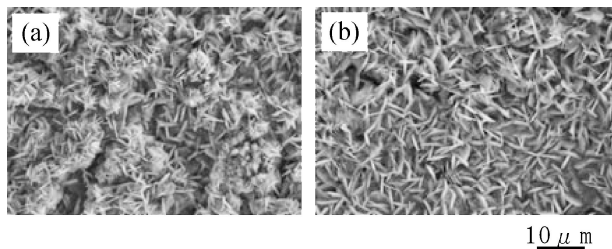


図7 スミクエンチZの化成処理後の表面SEM像。
(a) スミクエンチZ, (b) 合金化溶融亜鉛めっき軟鋼板。

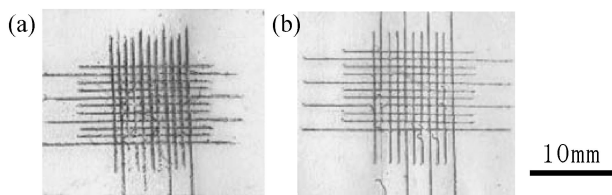


図8 スミクエンチZの塗膜密着性。
(a) 電着塗装後, (b) イオン交換水500h浸漬後。

良好な塗膜密着性を示した。

以上から熱間プレス用鋼板スミクエンチZを用いると、熱間プレス後の脱スケール処理を施さなくても、良好なスポット溶接性と塗装性が確保可能となる。従ってスミクエンチZは脱スケール処理が省略可能な熱間プレス鋼板として適用可能である。

5. 実用化状況

本開発工法は国内で基本特許⁽⁹⁾を取得している。また本工法が最初に適用された2003年製プリウスのセンターボデーピラーレインフォース以降、カローラのフロア下のトンネル

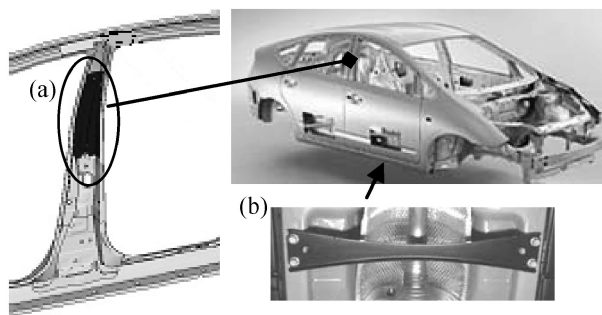


図9 スミクエンチZの適用部材例。
(a)センターボデーピラーレインフォース,
(b)フロアトンネルブレース。

ブレース等、複数の自動車部材に適用されている。図9に適用部材例を示す。

6. まとめ

本報告では合金化溶融亜鉛めっき鋼板をベースとした熱間プレス工法と、熱間プレス用亜鉛めっき鋼板(スミクエンチZ)の特徴および諸性能を紹介した。自動車の強度部材における熱間プレス鋼板の適用はここ数年で急速な広がりを見せており、防錆部位への適用要望も大きくなっている。一方で自動車の防錆部位向けの表面処理鋼板は、主として犠牲防食作用を持った亜鉛系めっきが使用されてきた。熱間プレス工法においても表層に亜鉛が残存する、合金化溶融亜鉛めっき鋼板をベースとした本開発熱間プレス工法が有望と考える。

文 献

- (1) 小嶋啓達：自動車技術会春季大会材料フォーラム, (2004), 13-18.
- (2) 中嶋勝司, 蟹江鋭夫, 小澤正史, 遠藤孝義, 岡崎他家蔵：素形材, **43**(2002), 31-35.
- (3) 今井和仁, 吉川幸宏, 土岐保：CAMP-ISIJ, **18**(2005), 557.
- (4) 市川正信, 菅野公雄, 山崎信昭, 尾林彰, 須藤俊太郎, 小嶋啓達, 今井和仁：自動車技術会学術講演会前刷集, **83-04**(2004), 20045684
- (5) K. Akioka, T. Nishibata, K. Imai, T. Takayama, M. Nakata, H. Fujimoto, N. Kojima and M. Matsumoto: Proc. of 8th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH 2011 in Genova, Italy), AIM, Italy, (2011).
- (6) 稲垣博巳, 石崎敬三：溶接学会誌, **42**(1973), 1252-1264.
- (7) 秋岡幸司, 今井和仁, 松本雅充, 西畑敏伸, 小嶋啓達, 高山透, 菊地祐久, 吉川幸宏：自動車技術会学術講演会前刷集, **21-11**(2011), 20115170.
- (8) 中田匡浩, 富士本博紀, 内原正人, 今井和仁, 小嶋啓達, 総田良之：自動車技術会学術講演会前刷集, **21-11**(2011), 20115279.
- (9) 特許4039548号