

プレス成形性・表面外観に優れた 自動車用溶融亜鉛めっき鋼板*

川崎製鉄技報
34 (2002) 2, 66-70

Hot-Dip Galvanized Sheet Steel with Excellent Press Formability and Surface Quality for the Automotive Panels



阿保谷 和洋
Kazuhiro Abotani

水島製鉄所
冷間圧延部冷延技術室
主査(掛長)



廣畑 和宏
Kazuhiro Hirohata

水島製鉄所
冷間圧延部長



喜安 哲也
Tetsuya Kiyasu

水島製鉄所
冷間圧延部冷延技術室
主査(課長)

要旨

プレス成形性、溶接性や表面外観品質の優れた自動車車体用溶融亜鉛めっき鋼板（GI 鋼板）を開発し、プレス成形性については、表面粗度適正化と高潤滑防錆油の使用により摺動性を改善することができた。溶接性についても、めっき層、素材の適正化により溶接電極寿命を改善することができた。また、表面外観品質を向上するためにワイピング条件の適正化による湯じわ模様防止、GI 専用浴での製造によるドロス付着防止、めっき後の冷却速度コントロールによるミニマムスバンクル化などのプロセス工程上の改善により、自動車外装材向けの溶融亜鉛めっき鋼板としての優れた特性が発揮されている。現在、本開発品は工程生産されている。

Synopsis:

A new type of a hot-dip galvanized steel sheet (GI steel sheet), excellent in press formability, weldability and surface appearance, for automotive bodies has been developed. As for press formability, through the optimization of surface roughness effected by texture control with skin-pass rolling and by the use of a high-lubricating oil, sliding characteristics has been able to be improved. Concerning an advantage in weldability, with the suitable selection of coating and substrate chemistry, the life of welding electrode has been extended. Further, for the betterment of exterior appearance property, countermeasures were introduced in processes, which are, the prevention of bath wrinkle patterns by adjusting a wiping condition, the avoidance of dross adherence with the use of a bath exclusive for GI use, and the generation of minimum spangles under cooling rate control after galvanizing, thereby, the hot-dip galvanized steel sheet demonstrates distinguished characteristics as a material sheet for automotive outer panels. The newly developed GI sheets are put into commercial production.

1 緒 言

自動車車体に使用される鋼板は、車体腐食問題から、従来の冷間圧延鋼板に代わって表面処理鋼板へと大きく変化している。北米など寒冷地での塩害対策のために、各種表面処理鋼板が 1970 年代後半に開発、使用され始めた。その後、使用割合が増加して 1990 年代には自動車用鋼板全体の 2/3 以上に達している。

自動車に使用される表面処理鋼板は、耐食性に優れるだけでなく、プレス成形性、溶接性、化成処理性、塗装性などさまざまな性能を満足しなければならない。自動車メーカーごとに、防錆対策に対する考え方や重視する性能が異なり、種々の防錆表面処理鋼板がそれぞれの長をいかして使い分けされているのが実状である。

北米では、比較的厚めっきの電気亜鉛めっき鋼板（EG 鋼板）が主に使用されている。これに対して、日本では、EG 鋼板のほかに合金化溶融亜鉛めっき鋼板（GA 鋼板）を使用する自動車メーカーが多い。欧州自動車メーカーでは EG 鋼板や GA 鋼板の他に GA 鋼板と同様の溶融系めっきで非合金の溶融亜鉛めっき鋼板（GI 鋼板）を主体的に使用している。さらに、最近では、GI 鋼板を内装部品だけでなく外装部品にも適用するメーカーも増加しつつありその需要が拡大している¹⁾。

従来から GI 鋼板は主に建材用として使用され、電気亜鉛めっきに比較し厚目付けの製品が製造しやすく、製造コストが安いといった利点がある。

一方で、表面品質の問題やプレス加工性、スポット溶接性などの自動車車体を組立てる上での各種特性に対する課題が多く残されており、これらの課題を改善する必要があった。

本報告では、これらの問題を解決し、自動車車体外面への適用に

*平成14年2月19日原稿受付

成功した GI 鋼板の品質特性、安定生産技術について述べる。

2 溶融亜鉛めっき鋼板 (GI) の諸特性

2.1 耐食性

Fig. 1 に各表面処理鋼板の耐食性試験の結果を示す。亜鉛付着量の異なる各種の表面処理鋼板をめっきままの状態で沖縄（海岸より約10m）に4年暴露した結果である。付着量が多いほど耐食性は向上する。GI 鋼板は、低コストで容易に厚めっきが可能であるため、高防錆性を得ることができる。特に塗装による防錆が期待できないヘム、フランジ内部においての防錆効果が発揮できる。

また、Fig. 2 に CCT 試験にて塗装、無塗装状態での各種鋼板の耐食性を評価した結果を示す。Zn-Ni 合金めっき鋼板は、無塗装での裸耐食性に比較的良好、GA 鋼板は、塗装後の耐食性に優れる傾向がある。一方、GI 鋼板は、裸耐食性においても塗装後の耐食性でも優れているのが分かる。

2.2 プレス成形性

素地鋼板が良好な機械的特性を有していても、めっき層とプレス金型との摺動特性が悪るとビード通過部における鋼板の流入量が制限され結果として割れが発生するなど、優れた機械的特性をプレス成形でいかすことができない場合がある。

Fig. 3 に GA、EG、冷間圧延鋼板と GI 鋼板に洗浄油を 1.5 g/m² 付着させ、摺動方向 20 mm、幅方向 20 mm 材質 SKD11 金型片を鋼板の表面に 1960 N で押付け 20 mm/min で平面摺動させた場合の摩擦係数を示す。GI 鋼板は、GA、EG、冷間圧延鋼板に比較して、摩擦係数が小さく摺動特性に優れていることが分かる。

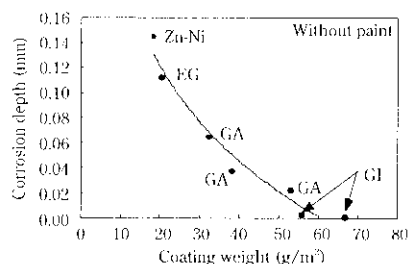


Fig. 1 Relationship between coating weight and corrosion depth examined in various Zn coated steel sheets exposed in Okinawa seashore for 4 y

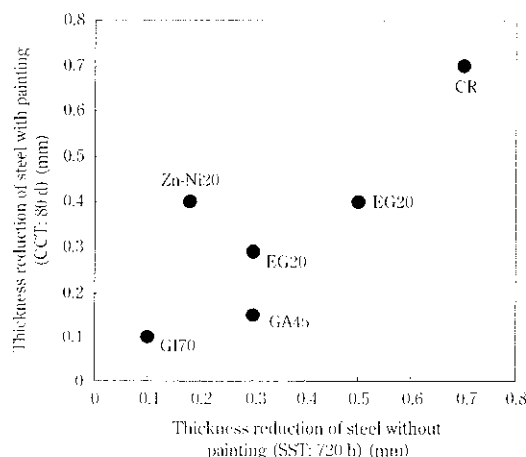


Fig. 2 Preforation corrosion resistances of pre-coated steel sheets with and without painting

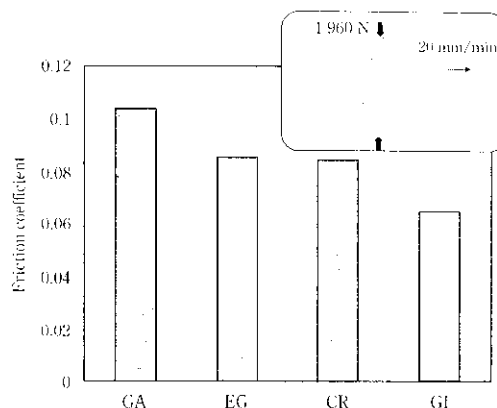


Fig. 3 Influence of coating type on friction coefficient (Washing oil: 1 g/m², Oil viscosity 17 mm²/s, sliding speed: 20 mm/min, pressing force: 9.8 MPa)

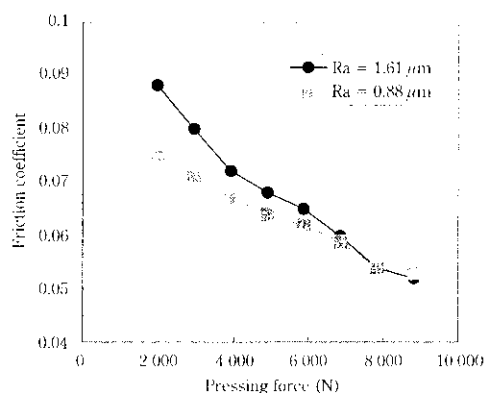


Fig. 4 Influence of roughness on GI friction coefficient

さらに、GI 鋼板の摩擦係数に及ぼす表面粗度、使用する防錆油、試験時の面圧の影響について調査した。めっき後の調質圧延時のロール粗度を変化させ、高粗度材と低粗度材を製造した。Fig. 4 に測定結果を示す。低面圧時には、低粗度の鋼板の方が摩擦係数は低い。摩擦係数は、面圧が高くなるにつれて粗度の影響が小さくなり、6860 N を超えると両者に差なくなることが分かる。

Fig. 5、6 に GI 鋼板に 3 種類の防錆油を 1.5 g/m² 付着させ摺動方向 50 mm、幅方向 20 mm の材質 SKD11 金型片を 1960 N で押付け 20 mm/min で平面摺動及び円柱摺動させた時の摩擦係数を示す。通常防錆油（A：粘度 17 mm²/s）と高潤滑防錆油（B：粘度 36 mm²/s、C：粘度 26 mm²/s）を比較した結果では、高潤滑防錆油を使用することにより、平面摺動試験、円柱摺動試験のいずれでも摩擦係数が低下する。このように GI 鋼板は、適正な粗度の付与と高潤滑防錆油を適用することで良好なプレス成形性を得ることが可能である。

2.3 溶接性

自動車車体は、1 台当たり 3000～4000 点のスポット溶接により組みつけられている。Zn 系防錆鋼板は、冷間圧延鋼板に比較すれば電極寿命、すなわち同一電極での連続打点が低いという欠点がある。このことは、軟質、低融点の Zn めっき層が存在することで、

- (1) 通電経路拡大のため高電流溶接が必要である。
- (2) 電極先端の高温化と電極の損耗先端径が拡大しやすいなどの理由によると考えられている。

また、素地鋼板中に B を添加することにより、連続スポット溶接打点性が改善される。熱影響部の粒成長が抑制され、スポット溶

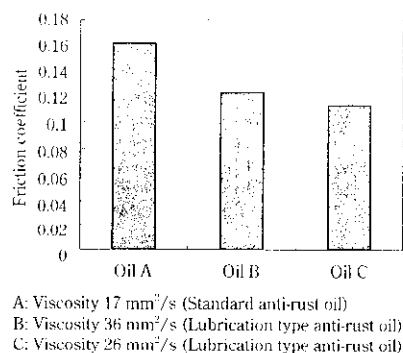


Fig. 5 Influence of corrosion lubricating oil on GI friction coefficient
Flat type die

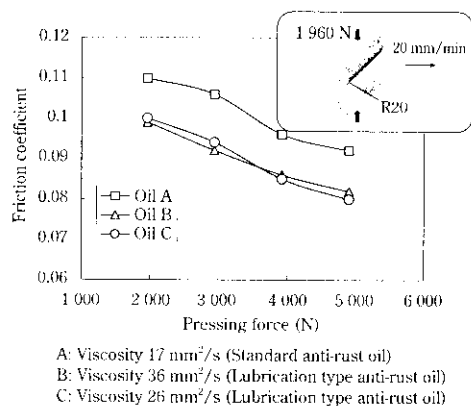


Fig. 6 Influence of pressing force lubricating oil on GI friction coefficient
3 roll type die

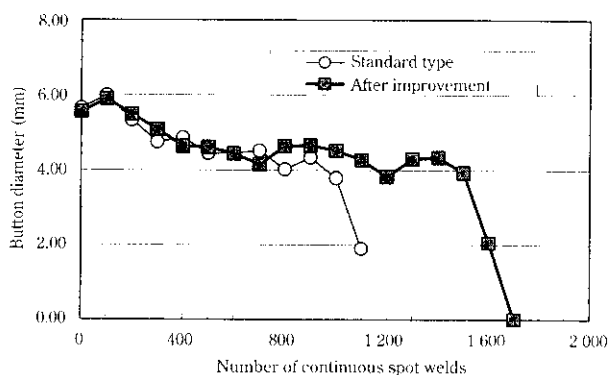


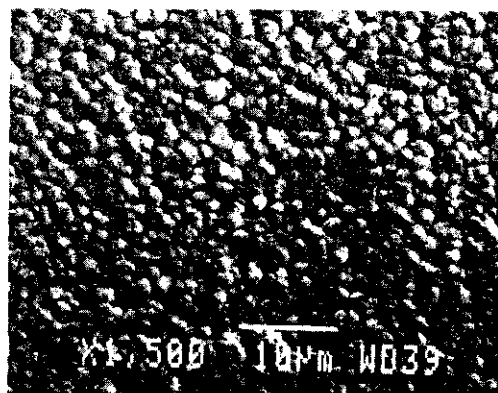
Fig. 7 Comparison between electrode life of GI before and after improvement

接部の疲労強度が改善できることが報告されているが、電極の損耗に対しても、粒成長抑制による鋼板の軟化抑制が有効に作用したと考えられる。このように鋼板からの改善を種々試みた結果、Fig. 7に示すように、電極寿命の延長が可能となった。

2.4 化成処理性

化成処理は、鋼板に対する塗装前処理として施され、塗装後の耐食性、塗膜や鋼板と塗料の密着性を向上させる働きをもつ。通常化成処理後に観察される化成処理結晶観察で特性が評価される。

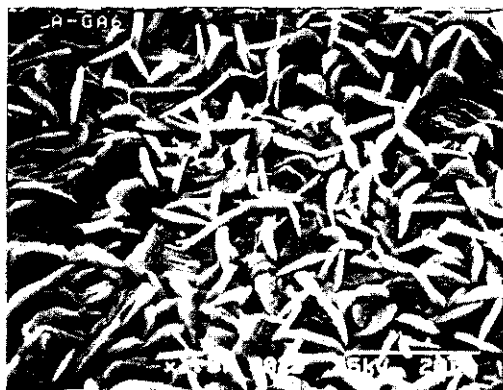
Photo 1 に冷間圧延鋼板、GI 鋼板、GA 鋼板を日本パーカー(株)製 PB-WL 35 で 2 min 浸漬後、水洗・乾燥した SEM により測定された結晶外観を示す。冷間圧延鋼板では、フォスフォライトの



(a) Cold-rolled steel sheet



(b) GI



(c) GA

Photo 1 Scanning electron micrographs of phosphate coating formed on (a) CR (b) GI and (c) GA

結晶構造をもつ粒子が観察されるが、一方 GA、GI 鋼板では、フォーバイトの結晶が観察され、大きさ、形状ともに両者に差がない。

GA 鋼板は、電着塗装時にクレータと呼ばれる塗装欠陥が発生しやすいことが報告されている²⁴⁾。このため、上層に Fe-P めっきをすることなどによりクレータの発生を防止している。GI 鋼板では、GA 鋼板と比較して、クレータが発生することがなく良好な電着塗装性を示す²⁵⁾。

3 溶融亜鉛めっき鋼板 (GI) の製造技術

3.1 表面外観向上

3.1.1 湯じわ模様

亜鉛浴でめっきされた鋼板では、亜鉛浴上で空気あるいは窒素

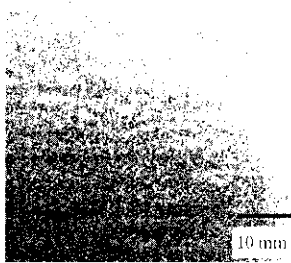


Photo 2 Wrinkle pattern of GI surface

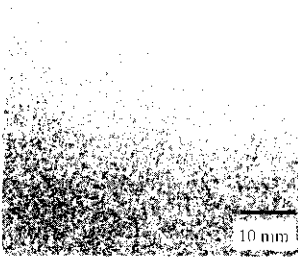


Photo 3 GI surface after improvement on the wiping conditions

(以下、ワイピングガス)により亜鉛の付着量をコントロールするこの際、ワイピングガスの吹き付けにより鋼帯の振動が生じ、まためっき層の不規則湯流れのために、めっき表面に **Photo 2** に示すような波形流紋状の模様(湯じわ)を発生することが多い。特に自動車用外装材の用途においては、亜鉛めっき表面を塗装下地表面とした場合、塗膜の表面性状、特に平滑性が阻害されるため、湯じわ模様を防止しなければならない。

このため、水島製鉄所連続式溶融亜鉛めっき設備では、ワイピング条件(ワイピング圧力、ノズル-鋼板距離、ノズルの浴面の高さ)の適正条件下に制御することにより湯じわ模様発生防止技術を確立した。**Photo 3**に確立後の表面性状を示す。

3.1.2 スパングル対策

鋼板に付着した亜鉛が凝固する際、凝固核を中心に樹脂状に結晶が成長し、亜鉛めっき鋼板の表面に華模様のスパングルが形成される場合がある。スパングル模様は、用途によっては表面の美しさから建材などの用途のように好まれる反面、自動車用鋼板として使用される場合には、スパングルによる表面の凹凸や結晶方向の差が塗装後の外観を損なうため、スパングルを微細化したミニマムスパングル材が必要となる。スパングルの大きさは、浴中に存在する Pb、Sb 量、めっき層の凝固速度の影響を受けることが知られている。前者は、溶融亜鉛中には Pb、Sb を溶解するが、固体の Zn は Pb、Sb の固溶度が小さいため、めっき後の凝固の過程で Pb、Sb を排出し、未凝固部の凝固点が降下するためである。後者は、凝固速度が増加するほど凝固結晶核生成速度が大きくなるためである。

Photo 4に硫酸銅水溶液にてエッチング後、スパングルの大きさを明確にした鋼板の外観写真を示す。

水島製鉄所連続式溶融亜鉛めっき設備においては、亜鉛浴中の Pb 量を最小限とし、さらに亜鉛浴上での冷却速度のコントロールを実施することにより、**Photo 5**に示すようなスパングルサイズの微細な鋼板の製造を可能とした。

3.1.3 ドロス付着

溶融亜鉛めっき鋼板の品質問題の一つに亜鉛浴中で品出するドロスが鋼板に付着し、プレス成形後に星目と呼ばれる表面欠陥をもたらす問題がある。ドロスは、鋼板から亜鉛浴中に溶出した Fe が浴

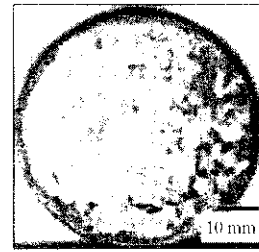
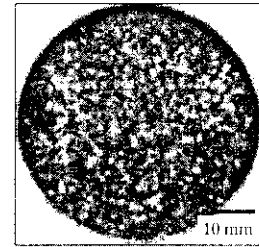
Photo 4 Spumple pattern of conventional GI (after etching with CuSO_4 aqueous solution)

Photo 5 Spumple pattern after improvement

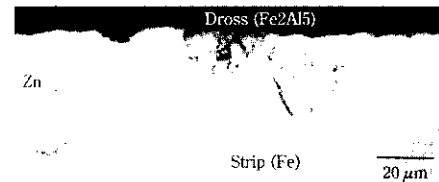
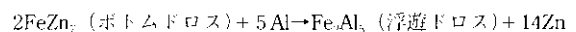


Photo 6 Cross sectional micrographs of dross on GI

中添加 Al や溶融 Zn と反応して形成される Fe-Al 系および Fe-Zn 系の金属間化合物に分類できる。Fe-Al 系(浮遊ドロス)は、ポット中に浮遊し、Fe-Zn 系は、ポット下部(ボトムドロス)として存在し、それらの形成は、浴中の Al 濃度や浴温度の影響を大きく受けることが知られている。

1 台のポットで GI と GA を製造する場合、GA 浴から GI 浴へ切り替え時に浴中の Al 濃度を大きく増加させ下を示す反応が生じ、浮遊ドロスが頻発する。



これらの浮遊ドロスは **Photo 6** に示すように板面に付着し表面欠陥となる。

水島製鉄所連続式溶融亜鉛めっき設備では、2001 年 11 月より、亜鉛ポットを 1 台増設し、GA 浴と GI 浴をそれぞれ専用ポットとして製造できるようにした。浴切り替えをなくし安定した浴条件で製造することにより、ドロスの発生量を最小限に抑え、**Fig. 8**に示すように鋼板に付着するドロス付着個数を大幅に減少することができ、良好な外観の GI 鋼板の製造が可能となった。

3.2 表面粗度転写技術

前章にて、プレス成形性に板面粗度が大きく影響を及ぼすことを述べた。表面粗度は、主にスキンパス圧延時のロール表面粗度、スキンパス圧延荷重や張力を変化させることで、制御することが可能である。水島製鉄所冷間圧延工場では、ロール加工機としてショットダル加工装置、レーザーダル加工装置に加えて、放電ダル加工機(electro discharge texturing, EDT とする)を 1999 年 12 月に導入した。**Fig. 9**に各ロール加工機の表面加工可能範囲を示す。EDT では、Ra、PpI、Wca の複数の指標に対して、広い加工範囲を有す

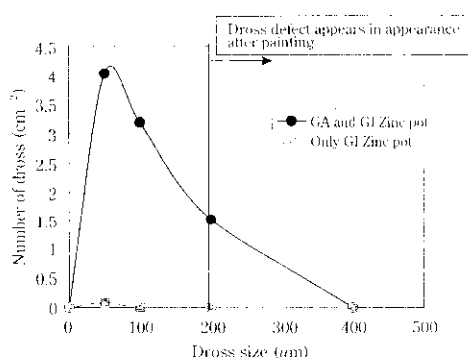


Fig. 8 Number of dross on GI sheet

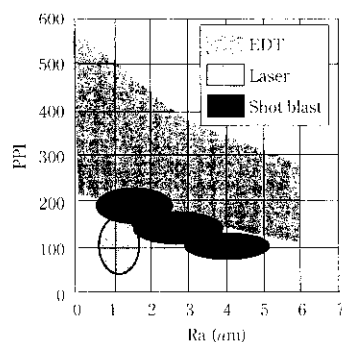


Fig. 9 Influence of skin-pass roll texturing technology on PPI and roughness

るとともに、バラツキを小さくすることが可能である。

Fig. 10 にショットダルロールと放電加工ロールでの圧延材のGI銅板の板面プロフィールを示す。

放電ダル加工機を用いてロールの粗度プロフィールを変え、銅板のプレス加工の用途によってGI銅板の表面粗度を造り分けることにより、プレス加工性に優れた銅板の製造が可能である。

4 結 言

自動車用溶融亜鉛めっき銅板を自動車車体用途に使用する場合、従来からの課題であったプレス加工性、スポット溶接性、表面外観などの問題を以下のように改善した。その結果、プレス成形性および表面外観に優れた自動車外装材への溶融亜鉛めっき銅板の製造が

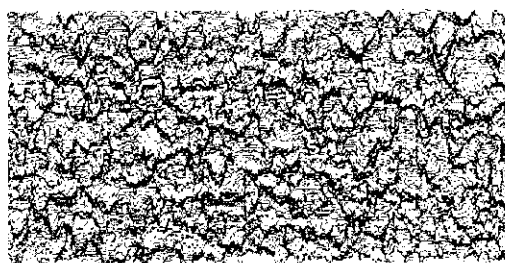
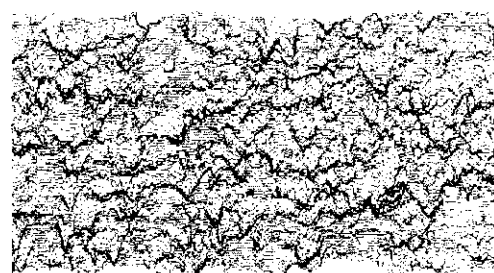


Fig. 10 Influence of skin-pass roll texturing on texture and roughness for GI sheet

可能となった。

(1) 溶融亜鉛めっき銅板の特性

- (a) 従来確立した良好な銅板機械的特性に加え、表面粗度制御および高潤滑防錆油を用いることによる摺動特性改善により、良好なプレス成形性を示す。
- (b) めっき層、素材成分の改善により、良好な連続スポット溶接性を示す。

(2) 溶融亜鉛めっき銅板の製造方法

- (a) ワイピング条件を最適化することにより湯じわ模様欠陥発生を防止することができた。
- (b) 溶組成およびめっき後の冷却速度を最適化することにより、スパンゲルサイズの微細な銅板が製造できるようになった。
- (c) GI専用ポットによる溶条件安定化によりドロス付着の少ない銅板が製造できるようになった。
- (d) 放電ダル加工機を利用してロールの粗度プロフィールを変え、プレス用途に合わせた銅板の表面粗度の転写が可能となった。

参 考 文 献

- 1) D. Quantin and F. Ronin: 40th MWSP Conf. Proc., ISS, (1998)
- 2) 窪田隆広、山下正明: 鉄と鋼, **7**(1991), 1087
- 3) 佐藤 登、田中佐生朗: 鉄と鋼, **8**(1986), 1084
- 4) 大和康二、市田敏朗、入江敏夫: 川崎製鉄技報, **21**(1989)3, 222
- 5) 山口 洋、久松敬弘: 鉄と鋼, **60**(1974), 96
- 6) 大居利彦: 材料とプロセス, **5**(1992), 1736
- 7) 高村日出夫: 鉄と鋼, **81**(1995), 43