

## 最近の表面処理技術の進歩



松 塚 健 二\*

## Recent Development of Surface Finishing Technology

Kenji MATSUZUKA

## 1. はじめに

鉄鋼の表面処理は防錆，防食，装飾用としてその商品価値を高めるため古くから行われてきたが，商品機能の向上，省力化，省エネルギーなどの観点から表面処理鋼板が注目をあびその用途も多様化している。

特に最近では容器用材料としてアルミなど競合材料対応としての表面処理鋼板の多様化はもとより，自動車車体防錆ニーズが高まり亜鉛系合金めつき鋼板の開発が進み，各種の新しい表面処理鋼板が使用されはじめている。もちろんこれらの表面処理鋼板は単に表面処理技術のみで高度な品質が確保されているのではなく，そのベースには製鋼から始まり最終の表面処理に至る一貫製造体制における非常な技術的進歩に負うところが多い。

本稿では，表面処理鋼板製造方法，あるいは用途ごとにその概要と最近の技術革新について述べてみたい。

## 2. 溶融めつき

現在我が国では，亜鉛めつき鋼板，アルミめつき鋼板，ターンシート，溶融錫めつき鋼板が溶融めつき法によって製造されている。また，溶融めつき鋼板の製造方法として，主としてフラックス法とゼンジミア法のプロセスを使用しているが鋼板のめつきには種々の利点からゼンジミア法が広く採用されており亜鉛めつき，アルミめつきの主流になつている。最近では高速化による生産性の向上はもとより付着量コントロール技術，自動車向並に家電向に比表される高品質製造技術も飛躍的に進歩しており需要も急増している。

以下主な溶融めつき製品の特長並に最近の技術開発の内容を概説する。

## 2.1 溶融亜鉛めつき製品

溶融亜鉛めつき製品は表面処理鋼板の中でも最も生産量が多くその用途も建材土木はもとより家庭電器製品，自動車外板など多岐にわたっている。

特に最近では自動車車体防錆の手段として表面処理鋼板の採用が増大しており後述の電気亜鉛めつき製品と共

に需要は伸びている。

我が国での溶融亜鉛めつき鋼板の拡大は 1953 年のゼンジミア法の導入が契機であり，この方法の採用によりめつき浴中の Al 添加が可能となりその合金層抑制効果によつて深絞り加工など苛酷な加工が可能となりその用途が拡大したと言える。また，溶融めつき鋼板はめつき時の熱時効のため，材質が電気めつき製品に比しやや硬質であるが最近の技術開発により超深絞り用から加工用ハイテン鋼板までの製造が可能になつたことも一因である。

溶融亜鉛めつき製品は，その用途の拡大と共に塗装性，溶接性，加工性が要求されるようになってきたが塗装性向上のためにりん酸塩処理，クロメート処理などの後処理も開発され利用されている。

また，塗料密着性，溶接性の改善を目的として亜鉛めつき後に表面を加熱しめつき層を合金化した，いわゆるガルバニールド鋼板<sup>1)2)</sup>や塗装後の表面仕上がりが美しいゼロスパングル材，更にはスキンプスを施した亜鉛めつき鋼板が実用化され広く利用されるようになった。

このような溶融亜鉛めつき鋼板の塗装性，加工性などの著しい改善が前述の自動車車体防錆のニーズに適合し自動車用途が伸びており，我が国ではめつき後合金化処理を行つたガルバニールド鋼板が多く利用されている。また最近では片面 Zn/他面 Fe-Zn 合金とした鋼板も開発され海外で使用されている。

更に，新しい技術として溶融めつきプロセスによる片面めつき製品も工業化され，自動車外板に適用されている。

次に溶融亜鉛めつきプロセスの進歩については，まず図 1<sup>3)</sup>に示すように，最近の設備は高速化，大能力型，省力化，省エネルギーを図つて生産性を高めることのほかに自動化やコンピューターの導入によつて製品品質の作り込みを行つていることなどがあげられる。

連続式溶融亜鉛めつきラインの速度はガスワイピング法などの導入により 200 m/min までに達しているが，この高速化実現のために①ワイピングノズルの改善②

昭和 61 年 2 月 7 日受付 (Received Feb. 7, 1985) (依頼解説)

\* 新日本製鉄(株)薄板技術部 (Sheet & Coil Technical Division, Nippon Steel Corp., 2-6-3 Otemachi Chiyoda-ku Tokyo 100)

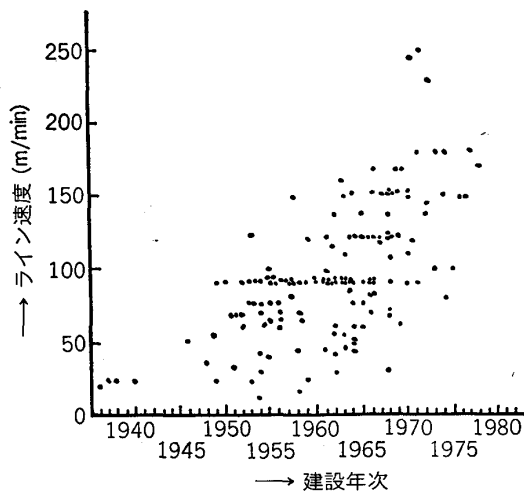


図 1 世界溶融亜鉛めつきラインの最高速度<sup>3)</sup>

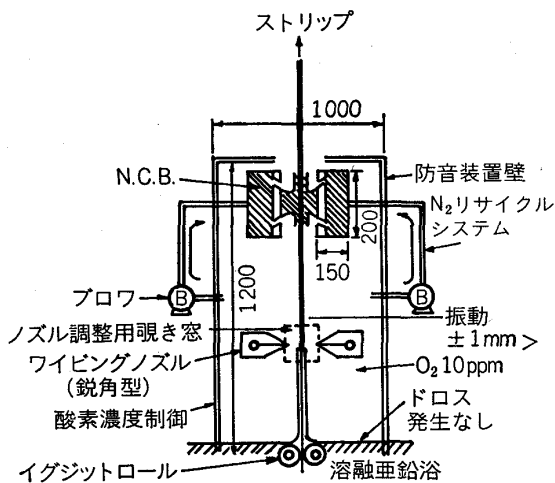


図 2 酸素濃度制御ワイピング図

亜鉛洗面の  $N_2$  ガス雰囲気によるシール (ドロス発生防止) などが開発され実用化されている. この  $N_2$  ガスシール法は同時に製品外観を向上さす利点もあり Armco Steel では "Ultra Smooth Process<sup>5)</sup>" として工業化されており自動車外板用途として適用されている.

更に, 高速に伴うストリップの振動防止対策として  $N_2$  ガスシール法にエアークッションベアリング<sup>6)</sup> を併用することも実用化されつつあり付着量均一化などのメリットも得られようとしている.

次に前述の片面溶融めつき鋼板製造プロセスとして, 片面剝離法<sup>4)</sup>, マスキング法, 溶融金属片面供給法に分類できるが, 溶融金属片面供給法として①メニスカス法<sup>7)</sup> ②溶融金属に強制的に運動を与え亜鉛浴を隆起さす方法, ③回転ロールにより溶融金属を持ち上げる方法などがある. ②の方法の代表的なプロセスとして電磁ポンプ法<sup>8)</sup> (図 3) が, また, ③の方法の一例として図 4 に示す U. C. P プロセス<sup>9)</sup> が実用化されている.

また, 品質向上技術として, スパングル調整方法 (ゼ

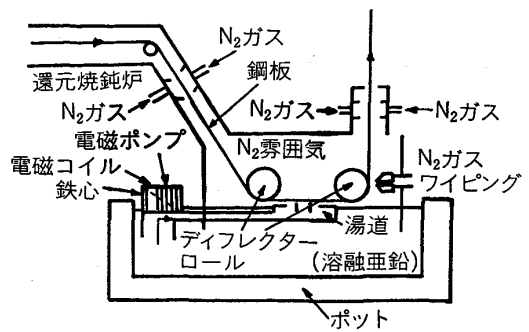


図 3 電磁ポンプ法による片面溶融めつき装置概要

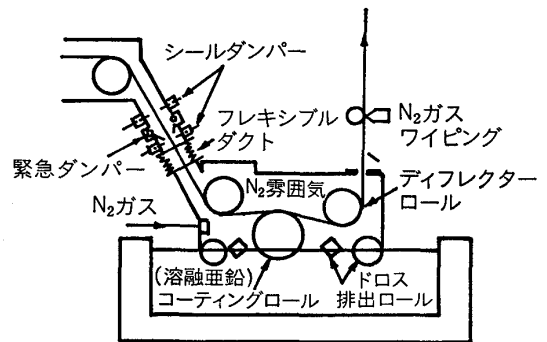


図 4 ロール法による片面溶融亜鉛めつき装置概要

ロスバングル化) も亜鉛粉末処理法 (ハーティプロセス<sup>9)</sup>) が実用化されつつあり, ガルバニールド鋼板の品質安定化技術として, 合金化コントロール技術, 更には亜鉛付着量自動コントロール技術<sup>10)</sup> の進歩などの技術革新も進んでいる.

## 2.2 亜鉛-アルミ合金めつき鋼板

最近省資源, あるいは耐久性向上の観点から従来の亜鉛めつき鋼板に対し, より耐食性の優れた新しいめつき鋼板のニーズが高まっている.

溶融亜鉛めつき鋼板の長寿命化の方法として厚目付化も一手段であるが, 一方では合金めつき鋼板の開発が進んでおり亜鉛浴中にアルミを添加することが耐食性向上に著しく効果のあることが判明している.

現在実用化されている亜鉛-アルミ合金めつき鋼板として次の 3 種類の製品が挙げられる.

### (1) Galvalume 鋼板<sup>11)</sup>

Bethlehem Steel が開発した製品 (Zn-55%Al-1.6%Si) であり, 1973 年に製造開始以来その優れた耐食性が高く評価されアメリカはもとよりオーストラリア, ヨーロッパでも広く生産され日本では新日本製鉄, 住友金属らがライセンスを受けており現在は新日本製鉄グループの大同鋼板にて生産されている.

Galvalume 鋼板の特長は特に裸の耐食性が優れていることであり, 通常亜鉛めつきの 3~5 倍の耐食性を保有すると言われる. また適切な前処理を選定すれば塗装性能も良好であり今後の伸びが期待される.

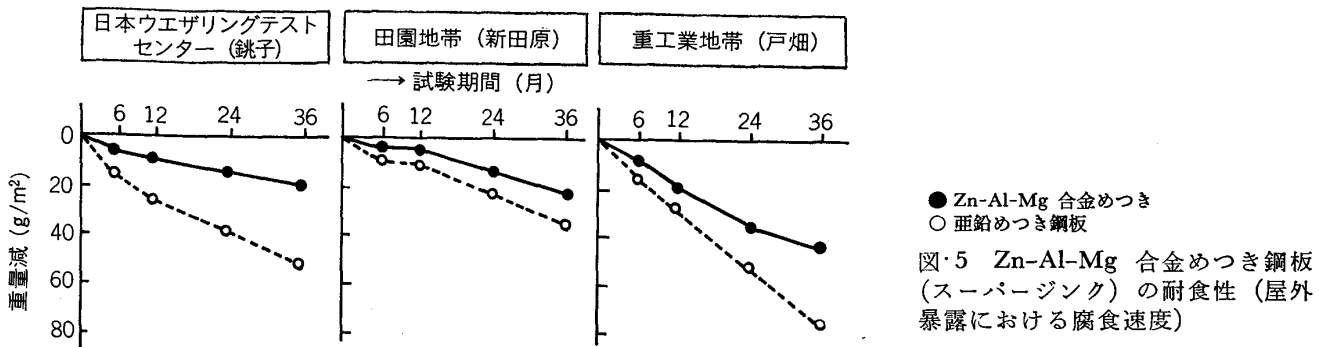


図5 Zn-Al-Mg 合金めつき鋼板 (スーパージンク) の耐食性 (屋外暴露における腐食速度)

(2) Super Zinc<sup>12)13)</sup>

近年、新日本製鉄が開発した Zn-Al-Mg 系合金めつき鋼板 (Zn-5%Al-0.1%Mg) であり、独特の銀白色の外観を呈しており、裸の耐食性も亜鉛めつき鋼板の 2~3 倍あり需要も伸びている。特に加工時にめつき層にクラックが入りにくいという特長をもっており、その優れた塗装性能ともあいまって広く建材部門に拡販しつつある。

また、5%Al 合金は熔融温度が亜鉛のそれよりも低くめつき操作性も比較的やさしいことも特長になっている。Super Zinc の耐食性を示す例を図5に示す。

(3) Galfan<sup>14)</sup>

ベルギーの金属研究センター (CRM) が開発した 5%Al-Zn 合金めつき鋼板であり、めつき浴の濡れ性を向上させるため、ミッシュメタルが少量添加されている。

現在は主として日本で実用化されつつあるが、ヨーロッパでも少量ではあるが生産されている。

Galfan の特長は前述の Super Zinc とほぼ同じであり今後の生産増が期待されている。

更にこれらの合金めつきは更に鋼板のみならず線材などへの実用化も検討されており実用化も近いものと思われる。

2.3 アルミめつき鋼板

我が国では 1963 年頃から熔融アルミめつき鋼板を生産しているが近年耐熱用途として自動車の排気系部材に使用されるようになって生産量が大幅に増加した。

熔融アルミめつきは大別してフラックス法とガス還元法に分けることができる。前者は主として器物やワイヤーなどの鋼材製品のめつきに応用され、後者は連続的に鋼板をめつきする場合に応用されている。いずれの場合もめつき前に被めつき面の酸化物を完全に除去することが重要である。また、Al の熔融温度が Zn よりも高いこと、更に鉄とも強い親和力をもっていると共に酸素との結合力が強いため、亜鉛めつきとは異なつた種々の対応が必要である。最近ゼンジミアラインの雰囲気コントロール技術、付着量コントロール技術、更には表面調整技術などが大幅に進歩し製品性能も向上している。

アルミめつき鋼板は一般に耐熱加工用としての I 型と

耐食用としての II 型に分類されるが日本では主として I 型が生産されている。

アルミめつき時に生成する Fe-Al 合金層は非常に硬くて脆く加工性に乏しい欠点を持っており、できるだけ合金層を薄くするか、また合金層の性質を変える必要がある。この目的のために、めつき浴中に Si を 5~10% 添加した I 型の合金層は 2-5 μm 程度であり加工にも適しており、主として自動車の排気系等の耐熱用途に利用されている。

一方、耐食性を重視する II 型は純アルミをめつきした製品で、耐食性は良いが反面、合金層が可成り生成しており、苛酷な絞り加工には難点がある。

アルミめつき鋼板の耐熱性は一般的に 600°C 程度であるが、最近自動車排気系システムの変化などのため、更に性能を向上したアルミめつき鋼板のニーズが強くなっており、耐熱性の向上 (800°C 以上) はもとより高温下での強度また、マフラー凝縮水に対する耐食性向上も要求されるようになった。このため、アルミめつき用原板、特に鋼成分の検討も進んでおり、例えば鋼中の [N], [C] を Ti で固定した鋼板をめつき原板として使用することにより、高温加熱時の耐酸化性に優れ、また加熱により生成される合金被覆層の耐食性が良好なアルミめつき鋼板の開発が進んでいる。(Ti) 添加鋼によるアル

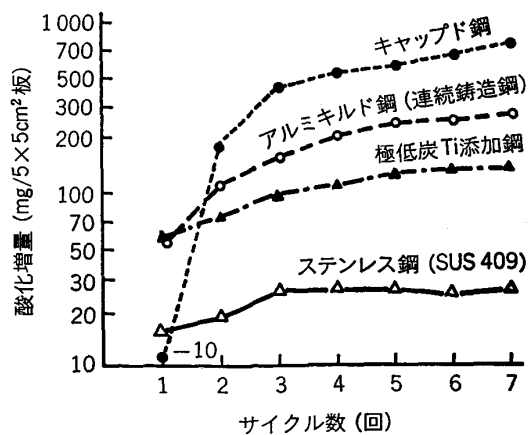


図6 Ti 添加鋼 Al めつき鋼板の耐酸化性 (815°C×22.5h→加熱→空中放冷 1.5h を 1 cycle<sup>15)</sup>)

ミめつき鋼板の耐酸化性の一例を図6<sup>15)</sup>に示す。

更にアルミの特長を生かしたブライツ製品、プレコート製品の開発など用途も多岐に及ぼうとしているが合金層の低減などによるめつき層の加工性向上が課題である。

#### 2.4 ターンめつき鋼板(ターンシート)

鋼板に Pb-Sn 系合金、すなわち、ターン合金をめつきしたターンめつき鋼板は我が国では 1964 年に工業化されて以来主に自動車燃料タンク素材及びテレビ、ラジオのシャーシー材として使用されその生産量も年々増加している。

ターンシートの特長は耐食性、特に耐薬品性が優れていることであるが、Pb-Sn 合金は Fe よりも貴な電位を示すため、腐食環境下においては Fe を電気化学的に防食する作用はない。従つて実際にガソリンタンクとして用いられた場合、めつき層に素地鉄が微小に露出する、いわゆるピンホールが存在するとそこが孔食的に腐食されガソリン漏れなどの事故の原因になることも考えられ、できるだけピンホールの少ない耐食性の良い製品が強く望まれていた。

この問題を解決するため、最近ターンめつき前に Ni を薄く電気めつきするプレめつき法が<sup>16)</sup>実用化されている。Ni プレめつきの効果は Pb-Sn 合金に対する濡れ性、すなわち反応性を向上させ微細かつ緻密でしかも全面を均一に覆う合金層を生成させてピンホール発生を防止している。また生成した合金層も従来材のそれに比し耐食性も良く耐食性向上にも寄与している。

しかし、近年中南米諸国をはじめとする一部の地域で自動車用燃料としてアルコール添加ガソリンが使用されはじめており、一層の耐食性向上を要請されるようになった。この一つとしてターンシートに Al 系の塗料を被覆する方法<sup>22)</sup>も米国で実用化されつつあるが今後の課題である。

#### 2.5 溶融錫めつき鋼板

近年、錫めつき鋼板(ぶりき)は容器用途としてはほとんど電気めつき製品にかわり、日本で1ラインを残す

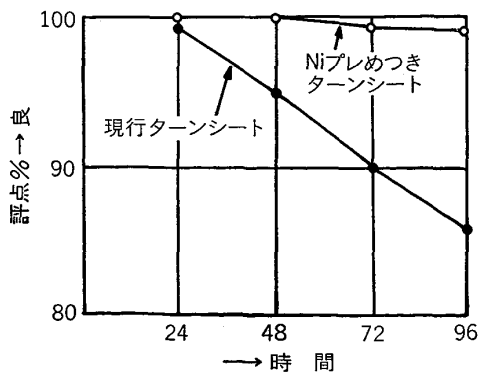


図7 Ni プレめつきターンシートの耐食性(塩水噴霧試験)

(注) めつき付着量は 135 g/m<sup>2</sup>

のみになった。現在の用途は一部の食缶向を除きガスメーターケースなどの一般用途が大半であり、ガスメーターも亜鉛めつき製品にかわりつつあり、品質、コスト面でも他品種に及ばなくなっている。

### 3. 電気めつき鋼板

電気めつき鋼板は錫、亜鉛、ニッケル、銅、クロムなど広範囲に実用化されており最近では合金めつきも実用化されている。歴史的には電気めつき法の開発により熱漬ぶりきが電気ぶりきに急速に転換したこと、また安価な容器用材料として開発された薄クロムめつき鋼板(TFS)の製造が主であったが、最近、自動車車体の防錆鋼板として亜鉛系電気めつき鋼板が注目され、単に亜鉛のみならず、より耐食性、塗装性の優れた合金めつき鋼板の開発並にその製造プロセスの開発が進んでいる。本稿では主として亜鉛系電気めつき鋼板の進歩について述べたい。

電気めつき鋼板は、溶融めつきのように高温にさらされない電気分解プロセスであるところから、加工用ハイテンから超深絞り用まで材質の選択範囲が広く、自動車の内外板を中心に幅広く採用されている。

一般に電気亜鉛めつき鋼板は溶融めつき鋼板に比べ、付着量が少ないことから加工性が良く、表面が平滑で美しいため家電製品、鋼製家具など屋内用途に用いられてきており、亜鉛付着量も片面 40 g/m<sup>2</sup> 以下と薄目付製品であったが、前述のように車体防錆として自動車に使用されるようになって以来耐食性を重視し厚めつき化が進むようになった。

しかし、厚めつき製品を使用する場合めつき層の加工性、あるいは溶接性に影響を及ぼすことから薄めつき製品で耐食性が良くかつ塗料密着性の優れた亜鉛系合金めつき鋼板に対するニーズが特に日本において高くなり、世界に先がけて合金めつきの開発が進みここ2~3年の間に表1<sup>17)</sup>に見るごとく各種亜鉛系合金めつき鋼板の実用化が行われ、特に Zn-Ni 系<sup>18)19)</sup>、Zn-Fe 系<sup>20)21)24)</sup>の製品が大量に利用されるようになった。またこれらの合金めつき鋼板は両面、片面はもちろん、単層、多層と非常にバラエティの富んだ製品となつている。

表1 亜鉛系合金電気めつき鋼板の開発状況<sup>17)</sup>

合金系	組成例(メーカー)
Zn-Co-Cr Zn-Ni	Co 0.3%, Cr 0.05% (鋼管) Ni 13% (住金, 川鉄, 鋼管, 神鋼), さらに Co 0.3% (新日鉄)
Zn-Fe Zn-Al Zn-Mn	Fe 10~25% (鋼管, 新日鉄, 神鋼, 川鉄, 住金) Al 10~15% 粉末として (川鉄) Mn 30~80% (鋼管)
(2層タイプ) 表層 Zn-Ni 系 表層 Zn-Cr 系 表層 / 下層 Fe 系 / Zn-Ni または Zn-Fe	Zn-Ni (γ 単層) / Zn-Ni (γ+γ') (川鉄), Zn-Ni/表層より卑な Zn 合金 (住金) Zn-Cr (0.005~0.5%) / Zn-Ni (神鋼), Zn-Cr (0.05~1.0%) / Zn 系 (川鉄) 表層 Fe または Fe-Zn (鋼管, 新日鉄, 神鋼), さらに P (~0.5%) 添加 (川鉄) Sn (~0.1%) 添加 (住金)

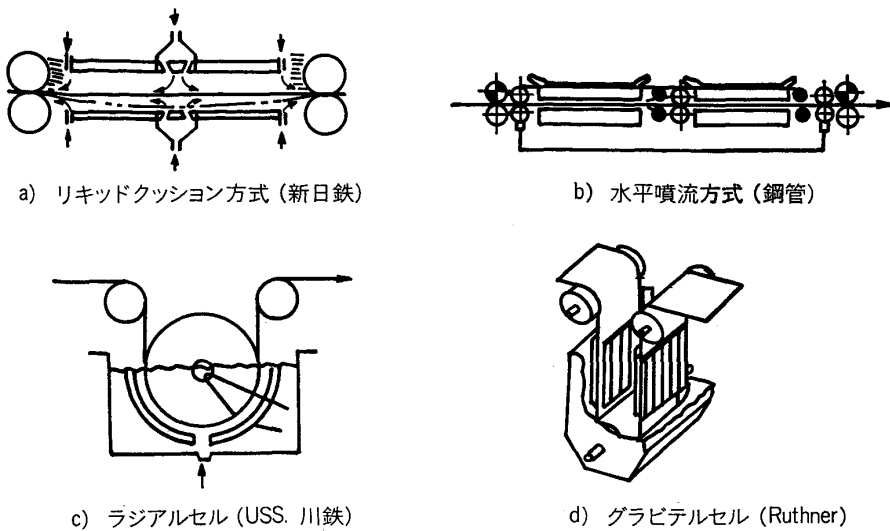


図 8 最近開発された主なめつきセルの構造<sup>17)</sup>

以上のように電気亜鉛めつき鋼板はその品質特性と共に今後大幅に需要が伸びるとの予想のもと日本はもとより欧米において新しい電気亜鉛めつきラインの建設が進んでおり、例えばアメリカでは 1986 年には現在の 50 万 t/y から 250 万 t/y 以上に能力が上がり、ヨーロッパでも 1987 年までに新たに 6 つの電気亜鉛めつきラインが稼動する予定である。

一方、電気めつき製品は、厚めつき製品の場合はコストに占める電力費用の割合が高く、より省エネルギーの進んだ効率の良いめつき方法の検討が、また合金めつきの場合にはめつき浴組成並にそれに付随した操作条件の開発が必要になり、鉄鋼各社にて新しいめつきプロセスの開発に取り組んだ結果、この分野でも日本は世界に先がけて実用化が進むことになった。

電気めつきプロセスとして電気めつきを短時間に少数のめつきセルに行うには適用電流密度範囲を増大させることが必要であるが、これに伴う極間電圧の増大は単位めつき量当たりの電力費の増大につながるため、極間距離をストリップと電極の接触が起こらない範囲で最小化する、めつき液の電導度を上げる、ストリップ表面近傍のイオン拡散層を薄くするなどの対策が必要である。一般に限界電流密度とめつき浴流速の関係は次式で表される。

$$ie \propto V^{0.8}$$

ただし、 $ie$ ； 限界電流密度 ( $A/cm^2$ )  $V$ ； 相対流速 ( $cm/s$ ) この式より、 $V$  を大きくするのが有効である。めつき浴流速を増大させるため従来のめつき浴静置交換型にかわつて、ストリップに対しめつき浴を強制的に吹きつける、いわゆる噴流式の新しいめつきセルが開発されている。

現在、図 8 のように各社にて種々の新しいめつきセルが実用化されているが、例えば新日鉄が開発したリキッドクッション方式<sup>23)</sup> (LCC-Horizontal) では、ストリッ

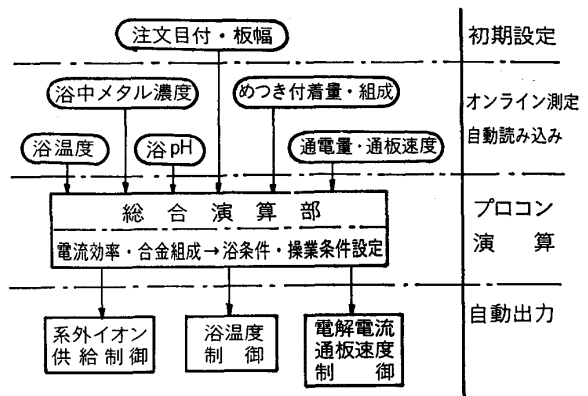


図 9 合金電気めつき操作制御概念図

プと陽極の極間距離を 10 mm 以下に短縮することが可能であり電流密度も  $200 A/dm^2$  以上の操作が可能になっており、建設費の低減はもとよりめつき製品の品質向上に効果を挙げている。

また、合金めつき製品を製造する場合には単一めつき製品と異なり、めつき浴の条件設定及びめつき層の組成コントロール技術の開発が必要であつたが、検出端及び制御機器の進歩により精度よく制御することができるようになった。

めつき層の組成に影響する操作要因は、浴温、浴 pH、金属イオン全濃度、浴組成比率、電流密度、通板速度、などが挙げられ、Zn-Fe 系合金めつきの場合には  $Fe^{3+}$  のコントロールも重要である。これらの要因を厳密に制御することにより組成変動を少なく抑え、また品質も安定することができ、数多くの要因を正確にオンラインコントロールするには計算機制御が必要である。この概念図の一例を図 9<sup>18)</sup>に示す。

今後も自動車防錆鋼板のニーズの多様化がますます進み、より安価でより耐食性のよい表面処理鋼板の開発が強く望まれており、車体の軽量化、制振性向上などと共

に材料供給メーカーとしての課題は多い。

#### 4. 容器用表面処理鋼板

容器は食品部門のほかに、さまざまな分野において大量に使用されているが、その材料は多様化し、ぶりき、ティンフリースチールなどの表面処理鋼板をはじめ、アルミニウム、プラスチック、ガラス、紙およびそれらの複合材料などが特長を生かし使用されている。

鋼板としてのぶりきははんだ付性が良く、容易に密封容器に加工できることから、古くから“ぶりき缶”として食缶に使用されてきたが、近年飲料缶を中心として安全で、安価な缶の供給が強く望まれるようになり、缶用材料の開発が積極的に展開されている。

特に我が国では高価な錫めつきにかわる材料として塗装耐食性の優れたクロムめつき鋼板の TFS (Tin Free Steel) をいち早く開発し、製缶メーカーでの接着技術など利用技術の開発と相まって、1970 年代にはビール、炭酸飲料缶に TFS の適用が進んだ。

この TFS が飲料缶などに適用されるようになった時、既に米国においてアルミニウム DI 缶 (Drawn and Ironed Can) の実用化が進んでおり、その後日本にもアルミ DI 缶の製造技術の導入が進められスチール缶の市場へアルミ DI 缶が急速に進出をはじめた。しかし鉄鋼メーカーも製缶業界と協力し、スチール DI 缶の開発<sup>25)26)</sup>に成功し、炭酸飲料缶などに広く実用化されている。

しかしアルミニウムもコストダウン並に品質の改善に積極的に取り組んでおり、また最近のアルミ地金価格の低下とも相まって、更にコストの安い、品質の優れたスチール DI 缶用材料の開発<sup>27)</sup>が進められている。

次に熱殺菌工程のないビール、炭酸飲料に早くから適用された TFS 接着缶は、熱殺菌を要する果汁飲料 (約 85°C ホットパック)、コーヒー飲料 (125°C レトルト処理) への適用が進められた。これまでの接着缶は高温での接着強度が不足していたが TFS のクロムオキシドの性状<sup>28)29)</sup>および塗料の改良により実用可能となり、既に大量に実用化されている。これはオージェ電子分光分析 (AES)、X線電子分光分析法 (ESCA) など表面分析手法の発達に寄与する点も多く、クロムオキシド皮膜の解析が進み、TFS の塗料二次密着性向上にはクロムオキシドの主成分である Cr, O, H の結合状態によるが、特にめつき時に処理浴に添加されていた  $SO_4^{2-}$  は著しく塗料二次密着性を低下させることが判明<sup>30)31)</sup>している。この  $SO_4^{2-}$  の影響を除くため、めつき浴組成の検討、電解条件の検討が行われている。

更に、古くから食缶に適用されてきたはんだ缶は、その後の製缶技術の進歩とはんだからくる食品の Pb 規制の問題から、前述の DI 缶、接着缶のほか、最近ではスードロニック社にはじまるワイヤー方式溶接機による溶接

缶、DRD 法 (Draw and Redraw) の絞り缶へ転換が進んでいる。

溶接缶用材料として、TFS はそのままでは溶接が困難なため高価なぶりきを使用されてきたが鉄鋼各社は安価な溶接缶用材料の開発に努めた結果、Ni めつき鋼板<sup>32)~34)</sup>、すずの極薄めつき鋼板<sup>34)35)~37)</sup> (LTS)、更に最近では Ni-Sn 系<sup>38)~42)</sup> めつき鋼板の開発も進んでいる。

DRD 缶は米国を中心に導入が進んでおり、使用材料はその良好な塗料密着性から主として塗装 TFS が使用されている。また原板には極薄、高强度材が実用化されており、特に低イヤリング材が望まれている。

一方蓋材は、ぶりきから TFS への切り替えが早く進み一般食缶の分野まで適用が拡大されつつある。最近では容易に開缶ができる EOE (Easy Open End) 化も普及しつつある。前述の DI 缶同様アルミニウムが先に実用化されたが、ぶりきの品質向上と製蓋技術の進歩により、スチール EOE も実用化されておりトマトジューススポーツドリンクなどに使用されている。更に、食缶用としてフルオープンタイプの EOE も実用化の検討も進んでおり開缶性の優れたスチールの開発が望まれている。

以上、容器用表面処理鋼板の技術革新について述べてきたが、製造プロセスの開発として最近新日鉄で開発された全不溶性アノードシステム<sup>43)44)</sup>が挙げられる。この方法の特長の一つにエッジマスク使用によるエッジオーバーコート防止効果があげられ付着量の均一性とあいまって薄めつきぶりきの製造に有利であり、世界的に注目されている。不溶性アノード方式のめつき浴システムの概要を図 10 に示す。

最後に、容器材料として表面処理鋼板の拡販が進んだ要因として容器材料として適したスチール原板製造技術の進歩が非常に大きい。連続製造技術の導入、技術改善などによる非金属介在物の大幅な減少、圧延技術の進歩

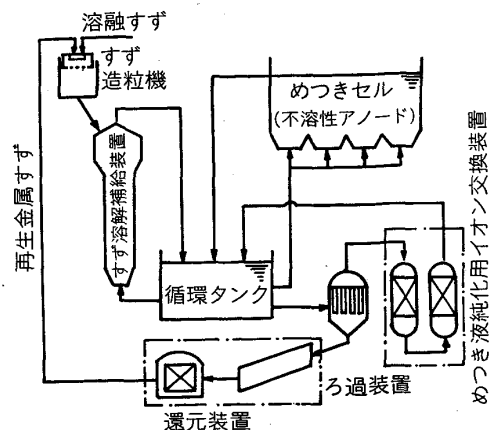


図 10 不溶性アノード方式におけるめつき液とすずの循環概要図

による板厚精度，平坦度の向上，連続焼鈍技術の進歩による材質の均質性，表面性状の向上などがあげられる。

しかしながら，前述のアルミニウム，プラスチックなどの競合材料の技術革新も進んでおり，より一層安価なスチールをベースとした素材の開発が望まれる。

## 5. 塗 装 鋼 板

我が国での塗装鋼板の製造は 1954 年の切板方式による生産が最初であるが本格的にコイル方式で生産を開始したのは 1964 年である。

当初は 1 コート 1 ベーク方式であったが，その後耐食性の良好な 2 コート 2 ベーク方式が主流になり，更に塩ビ鋼板，より耐久性の優れた塗装系が各種使用され，多種多様な製品が生産されている。

塗装鋼板の用途は建材向が主体であるが，最近では家庭電器製品，更には自動車用防錆鋼板としても利用されつつあり今後も製品の多様化と共に需要が伸びるものと予想されている。

特に家庭電器製品の外板部材に塗装鋼板（プレコート鋼板）を利用する試みは早くから行われていたが鋼板の製造技術，塗料の品質レベルが家庭製品の要求特性を満足することができず本格的な採用にまで至っていなかったが，1978 年米国の GE 社でオールプレコートの冷蔵庫が NCCA のデザイン賞を<sup>45)</sup>受賞したのを契機に，1～2 年前より，一部の家電メーカーがプレコート鋼板の採用に踏み切つたため各社共一斉にプレコート鋼板導入の検討を行い，徐々に採用が増加している。

プレコート鋼板採用の目的はあくまでもコストダウンと家電メーカーにおける公害対策であるが，その要求品質を（塗膜硬さ，耐汚染性と加工性のバランス）満足させることはむづかしいが，最近，高分子ポリエステル系を中心に塗料の開発も進み，かつ製造技術についても，短時間色替装置の導入，フローティングオープンの採用などコスト切り下げ対策も進んでいる。また塗装技術についても従来の熱硬化にとどまらず，紫外線や電子線<sup>46)</sup>を利用した硬化法も実用化されつつあり今後の発展が期待される。

一方，自動車用塗装鋼板としては，米国ダイヤモンドジャムロック社により「ジंकロメタル」が開発され，1971 年に米国フォード社に採用されて以来，主として欧米での利用が急速に進み年間 100 万 t 以上の生産に達している。ジंकロメタル製造技術は我が国でも技術導入され，かなり大量に使用されている。

しかし，ジंकロメタルは耐食性は良好であるがプレ時に金型により塗膜に損傷を受けたり，剝離することにより，耐食性が低下したり，剝離した塗膜が金型に堆積してプレス成形された鋼板表面に欠陥を生じやすいこと，また，溶接時の電極汚染しやすいことなどの問題があり品質改善の要求が出されていた。

このため，塗膜中に  $\text{MoS}_2$  を添加する方法<sup>47)</sup>なども試みられているが，一方では，母材として金属めつき鋼板を使用し塗膜を減少させる試みが行われている。

この有機複合めつき鋼板の母材として，より耐食性の優れた電気亜鉛-ニッケル合金めつきが主流になつており，上層に従来のジंकクリッチ系塗料を薄膜化<sup>48)49)</sup>（約  $5 \mu\text{m}$ ）する方法と，クリアー系の概略に導電物質を添加しないで耐食性を向上させ極薄化<sup>50)51)</sup>（ $1\sim 2 \mu\text{m}$ ）を指向する方法が開発されいずれもジंकロメタルの短所を補うものとして注目されている。

## 6. ま と め

今後，表面処理鋼板の主要性はますます高くなると共に要求も多様化すると考えられる。例えば本稿では触れなかつたがドライプロセスの研究も相当進んでおり真空亜鉛めつき鋼板も実用化されようとしている。また，溶射，フィルムラミネート，クラッド鋼板などの新製品がその用途によつては鋼板の連続被覆技術として世に出ることも考えられる。

それと共に製造プロセスもめつき以外に前処理及び後処理の主要性がより認識され，また多品種製造することによりプロセスラインの高効率稼働方法の検討も必要になつてくるものと考えられる。

終わりに，本稿では紙面の都合上，多様化してゆく表面処理鋼板の技術革新について必ずしもすべてを正しくとらえ得ない面が多々あつたと思うが，筆者の力不足として認めていただきたい，と共に読者の素直な御批判をお願いしたい。今後共需要客の必要とする品質をより安く作り出すことを念じつつ本稿を終わりたい。

## 文 献

- 1) 目黒 明，山本 司，相川 潤：トヨタ技術，27 (1978)，p. 553
- 2) 垂水英一，渡辺 考，高橋靖雄：自動車技術，31 (1977)，p. 848
- 3) 安藤成海：第 52・53 回西山記念技術講座（日本鉄鋼協会編）(1978)，p. 44
- 4) 羽田隆司，横山英男，酒井完五，小林克義，西村猛夫，岩崎清俊，村上伸和，末光敬正：製鉄研究 304，(1981) p. 13759
- 5) New Development in Continuous Hot dip Zinc coating of Cold Rolled Steel-sheet: Industrial Heating (1980) 9，p. 24
- 6) 酒井完五，下川靖夫，齋藤勝士，白戸 元，水谷治：鉄と鋼，67(1981)，S 989
- 7) O. V. IRELAND: Armco's one-side galvanized sheet，57 (1980) 11，p. 48
- 8) 北沢良雄，樋口征順，大和哲次，金丸辰也，関屋武之：鉄と鋼，68(1982)，A 53
- 9) 関口克正，郡司直樹，伊勢保夫，庄司政治，荒木健治，小川正浩：日本鋼管技報 (1984) 101，p. 43
- 10) 辺見直樹，関屋武之，増田正宏，田中富三男，井内徹：鉄と鋼，70 (1984) 13，S 1110

- 11) D. J. BRICKWEDE/日本亜鉛需要研究会訳: 鉛と亜鉛 (1982) 110
- 12) 田野和広, 樋口征順: 製鉄研究 (1984) 315, p. 34
- 13) 田野和広, 樋口征順: 製鉄研究 (1984) 315 p. 34
- 14) F. E. GOODWIN and S. F. RADTKE: 鉛と亜鉛 (1984) 118, p. 27, 119, p. 26, 120, p. 21
- 15) 野村幸雄: 防錆管理 (1985) 7, p. 23
- 16) 樋口征順, 田野和広, 蒲田稔, 藤永実, 伏野哲夫: 日本金属学会会報, 21 (1982), p. 369
- 17) 乾恒夫, 安谷屋武志: 鉄と鋼, 71 (1985), p. 520, 521
- 18) 斎藤隆穂, 和気亮介, 岡襄二, 北山実: 製鉄研究 (1984) 315, p. 6
- 19) 朝野秀次郎, 伏野哲夫, 斎藤隆穂, 関屋武之, 岡襄二, 三吉康彦, 米野実, 北沢良雄, 樋口征順, 北島之夫: 製鉄研究 (1981) 304, p. 13776
- 20) 阿南達郎, 苗村博, 廣野忠夫, 福田脩三, 渡辺勉, 由田征史: 同上, (1981), S 332
- 21) 西村一実, 北山実, 三吉康彦: 同上 (1984) 13, S 1194
- 22) U.S. Patent 4391855
- 23) 酒井完五, 吉原良一, 北山実, 下川靖夫, 北沢良雄: 製鉄研究 (1984) 315, p. 57
- 24) 羽田隆司, 金丸辰也, 中山元宏, 新井勝利, 藤原俊朗, 末光敬正, 佐藤道夫, 小川裕: 製鉄研究 (1984) 315, p. 16
- 25) 日戸之, 中野寛文, 大八木八七: 鉄と鋼, 66 (1980) 7, p. 979
- 26) 山村稔, 田口喜代美, 内田繁孝, 宮原忍, 菅原功夫: 同上 (1980), S 137
- 27) 日戸元, 大八木八七, 中野寛文: 同上 (1980), S 1019
- 28) 前田重義, 浅井恒敏, 小俣裕保, 岡田秀弥: 金属表面技術協会, 第 60 回学術講演大会要旨集 (1979), p. 170
- 29) 乾恒夫, 西条謹二, 清水信義: 金属表面技術, 32 (1981), p. 80
- 30) 前田重義, 浅井恒敏, 朝野秀次郎, 小俣裕保: 日本特許公告公報, 昭 59-10438 号
- 31) 東光郎, 森田順一, 前田重義, 浅井恒敏: 日本特許公開公報, 昭 55-69296 号
- 32) 樋口征順, 大賀智也, 塚本幸雄, 蒲田稔, 野村幸雄: 日本特許公告公報, 昭 57-61829 号
- 33) 樋口征順, 大賀智也, 塚本幸雄, 蒲田稔, 野村幸雄: 日本特許公開公報, 昭 57-2895 号, 57-2896 号, 57-2897 号
- 34) 朝野秀次郎, 東光郎, 樋口征順, 市川政司: 製鉄研究 (1984) 315, p. 49
- 35) 筒井信行, 乾恒夫, 河村宏明: 日本特許公告公報, 昭 56-3440 号
- 36) 東光郎, 森田順一, 小山堅二: 日本特許公告公報, 昭 57-45478 号
- 37) 筒井信行, 乾恒夫, 河村宏明: 日本特許公告公報, 昭 56-54070 号
- 38) 斎藤隆穂, 江連和哉, 林知彦, 坂田茂雄: 同上 69 (1984), S 327
- 39) 樋口征順, 塚本幸雄, 蒲田稔, 大賀智也, 野村幸雄: 日本特許公開公報, 昭 57-23091 号
- 40) 中小路尚匡, 緒方一, 望月一夫, 市田敏郎: 鉄と鋼, 70 (1984), S 326
- 41) 樋口征順, 大賀智也, 水口俊則, 大八木八七, 山口康一, 梶原俊一: 鉄と鋼, 70 (1984), S 325
- 42) 中小路尚匡, 緒方一, 市田敏郎, 大塚幸子, 緋田泰宏: 鉄と鋼, 71 (1985), S 1246
- 43) T. SAITO: Proc. 1st International Tin Conference, London, (1976), p. 90
- 44) T. SAITO: 3rd International Tin Conference Paper No. 8, London (1984)
- 45) 金子堅次郎: 亜鉛鉄板, 25 (1981) 9, p. 1
- 46) 上野長治, 岡襄二: 製鉄研究 (1984) 315, p. 42
- 47) 奥田秀雄, 松井要, 豊嶋孝行, 林豊, 松尾左千夫, 西川俊夫: 鉄と鋼, 69 (1983), S 1104
- 48) 新藤芳雄, 岡襄二, 米野実, 江島瑞男, 山田有信: 製鉄研究 (1984) 315, p. 25
- 49) 津川俊一, 毛利泰三, 細田博, 小林繁, 市田敏郎: 鉄と鋼, 71 (1985), S 437
- 50) 山下正明, 江夏亮, 安谷屋武志, 原富啓: 鉄と鋼, 69 (1983), S 1103
- 51) 江夏亮, 山下正明, 安谷屋武志, 原富啓: 鉄と鋼, 70 (1984), S 332