総 説

鉄鋼の連続めっき製品の進歩

川崎 文一郎*

Advance in Continuous Precoated Steels

Bunichiro KAWASAKI

1. はじめに

鉄鋼製品の表面処理は防錆，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。従来は部品に加工された後，表面処理を施されていたものが，素材での表面処理化に移行すると共に，量的拡大，品種の多様化が起こり，近年増々その傾向が強くなって来た。鉄鋼業に於てもこれに呼応して新しい表面処理鋼板の開発高効率なプロセスの開発に精力的に取り組む需要家のニーズに应运えて来た。

本稿では用途毎に現在販売されている製品，或は近く商品化されるであろう製品について特性を紹介すると共に，その製品を必要とした背景を明らかにして行きたい(第2項～第5項)。又一方，高度化する品質要求に対応してプロセス技術の進歩も著しい。ここでは項を改めて製品系列毎に最近の進歩について紹介する。勿論現在販売されている製品は表面処理技術のみで高度な品質を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系に於ける非常な技術的進歩に負う所が大きい。本稿ではそれについては記

表1 乗用車車体の防食に関するカナダコードの内容

内 容	モデル	1981年
設計，材料，製造上の欠陥に起因する表面サビのないこと		18カ月 又は 6万km
通常，環境で孔あきのないこと		60カ月 又は20万km
通常，環境で構造上の損傷のないこと		72カ月 又は24万km

* 新日本製鐵株式会社薄板技術部 (〒100 千代田区大手町2-6-3)
Coil & Sheet Technical Dept., Nippon Steel Corporation (6-3, Otemachi-2 chome, Chiyoda-ku Tokyo 100)

述しえないが，鉄鋼業が供給する表面処理鋼板という意味では重要な事項であろう。

2. 自動車用表面処理鋼板

最も幅広く利用されている交通手段の一つである自動車は人々の生活と各国の経済に多大の影響力を有している。環境問題から来た排ガス規制，石油危機に端を発する燃料規制，その他防錆規制，安全規制等各国で自動車に課せられた規制は数多い。

自動車用表面処理鋼板は防錆規制に対し不可欠のものとなり，今日すでに，自動車用鋼材中10%以上¹⁾の位置を占め，今後ますますこの比率は増加すると予測されている。表面処理鋼板に期待されるところは寿命の延長，信頼性の向上にあり，又安全対策上もますます重要な意義を有しており，その役割は次の3つに大別される。

- 1. 車体の防錆
- 2. 燃料タンクの防錆
- 3. 排ガス系統の防錆

本項では，これらの目的に合致した自動車用表面処理鋼板の現状を概説する。

2-1 自動車々体防錆材料

車体の腐食問題は，国により訴訟にまで発展しており，カナダではカナダコードと称する規制が設定されるまでに至っており，車体防錆対策は各自動車メーカー間の品質競争力上のセールスポイントとしても重要な意義を持っている(表1)。

車体の腐食防止手段は各自動車メーカーにより各種各様であるが，

- (1) 車体に使用する鋼板に，耐食性を有する表面処理鋼板の採用。
 - (2) 腐食因子である泥・塩分等が外部から浸入または滞留しない構造とする。
 - (3) 耐食性塗料の使用，付加塗装など塗装で耐食性を向上させる。
- などである。特に(3)に属する下地塗装としてカチオン型

電着塗装法を採用することは、車体全体のレベルアップに効果があることから大部分の自動車メーカーで標準化されているが、それでも塗料のゆきわたりにくい袋構造部、合わせ部が存在するため、十分な防錆力を得る手段として信頼度の高い防錆鋼板の採用が不可欠となる。アメリカの場合、1985年頃までに車体の30%が表面処理鋼板化され、総使用量は400万トン²⁾にも達すると予測される。

車体防錆用表面処理鋼板は大別すると

- (1) めっき鋼板
- (2) 塗装鋼板

の2つになる。車体外板用として見た場合、サイドシルなどの一部の部品を除き、外側を冷延鋼板と同じ鉄面とし、内側に防食被覆を施したいわゆる片面処理鋼板が採用されている。内側の防食被覆は前述した塩害による車体腐食が、外面仕上塗装の施されている外側からではなく、鋼板の内側からはじまって外側にまで及んでくる孔あき腐食に対処するためであり、また、表面を被覆なしの冷延鋼板と同じ鉄面としているのは

(1) 異種金属との接触で起こる接触腐食 (Contact Corrosion) の防止。

(2) 塗装仕上り性の均一化。

(3) 溶接作業性の改善。

等を配慮したもので、内板についても溶接作業性から片面被覆鋼板を採用しているメーカーもある。

2-1-1 電気めっき鋼板

電気めっき鋼板は、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、自動車の内外板はもとより燃料タンク、マフラーにまで幅広く採用されている。

車体防錆用電気めっき鋼板は、亜鉛をめっきした鋼板が従来から広く使用されてきたが、電気めっきプロセスに多大の電力を消費することから、一般に片側 40g/m²以下と付着量が少ない。また、亜鉛めっき鋼板は亜鉛の犠牲防食作用による孔あき腐食の防止には有効であるが、塗膜下腐食防止の点では十分でないため、これを改善すべく、めっき層を亜鉛と他金属との合金とした合金電気亜鉛めっき鋼板の開発が世界に先駆けて日本で行われ、一部採用されている。

この合金電気めっき鋼板は両面、片面はもちろん、単層、多層と非常にバラエティに富んだ製品となっている。

Zn-Ni³⁾⁻⁷⁾、Zn-Ni-Cr⁸⁾、Zn-Ni-Co⁹⁾、Fe-Zn^{10), 11)}、Zn-Co-Cr¹²⁾⁻¹⁴⁾、Zn/Zn-Ni、Zn-Cr/Zn-Ni、Zn-Fe/Zn-Ni¹⁵⁾などが鉄鋼メーカーで検討されている。

電気めっき鋼板は一般に表面がスムーズなため、また防錆ニーズの強化 (表面腐食防止等強化) への対応も容易なことから両面めっき鋼板化への最短距離にある材料

といつて良いであろう。

2-1-2 溶融めっき鋼板

溶融めっき鋼板は一般にめっき付着量が多く、高耐食性を要求される部位に使用される。溶融めっき鋼板はめっき時の熱時効のため材質が電気めっき鋼板に比べ、やや硬目であるが、最近の技術開発により超深絞り用から加工用ハイテンまでの製造が可能になり、車体の内外板に広く採用されている。

車体防錆用溶融めっき鋼板には、通常の亜鉛めっきしたもの、亜鉛めっきした後、熱処理により Fe-Zn 合金を形成させた合金化処理亜鉛めっき鋼板の2種に大別できるが、片面 Zn/他面 Fe-Zn 合金とした鋼板も表面サビ防止用鋼板として使用されている。

塗装を施した場合、亜鉛めっき鋼板に比べ合金化処理溶融亜鉛めっき鋼板は塗料の密着性が優れ耐食性が格段に向上する¹⁶⁾。また、Fe-Zn 合金層となっていることから溶接性にも優れており、わが国の自動車メーカーでは、溶融亜鉛めっき製品の中ではこの合金化処理材が広く使用されている^{16), 17)} (図1)。

片面亜鉛めっき鋼板は外板用としてニーズの高い鋼板である。電気めっき法では原板の片側にのみ電極を配して通電めっきする方法がとられているが、めっき付着量の多い製品の製造では溶融めっき法が有利である。通常両面めっき後、片面を機械的に研削除去する方法が従来の主製法であったが、最近、合理的な非研削法が実用化され始めた。本法では鉄面に研削条痕が残らないため塗装仕上の点でも冷延鋼板と同等の性能を得る利点がある。本法には電磁ポンプ方式、ロールコーティング方式、マスキング方式などが実用化されている。

2-1-3 塗装鋼板

車体防錆用塗装鋼板は鋼板表面に導電性を有する塗料を塗布し、その塗膜によって腐食環境と鋼板素地との絶

図1 各種亜鉛めっき鋼板の耐食性比較¹⁸⁾

縁をはかることによって防食効果をあげようとする溶接可能なプレコート鋼板の一種である。このため塗装鋼板はそのままでの状態での耐食性が優れており、防錆鋼板としての必要条件を備えているが、加工時の塗膜はく離は大なり小なり避けることができず、使用時の配慮が必要である。

塗装鋼板の範囲に入る材料として、現在世界的規模で使用されている冷延鋼板をベースとしたジクロメタルやめっき鋼板をベースとした有機複合鋼板⁹⁾がある。

車体防錆用鋼板は市場ニーズが強くかつ市場規模が大きいことから上述の材料以外にめっき層中に無機物を分散させた複合めっき鋼板^{18)~24)}などの開発が進められている。

2-2 燃料タンク用防錆鋼板

燃料タンク（ガソリンタンク）は自動車の安全のために最重要保安部品として位置付けされており、その材料には

1. 腐食による孔あきが生じにくい。
2. 燃料循環系を目詰り防止のために腐食生成物の発生が少ない。

ことが要求されている。また、石油価格の高騰と資源の稀少化によりアルコールを混合したガソールが使用されるようになり、従来にも増して水の混入によるタンクの腐食がクローズアップされている。

燃料タンク用表面処理鋼板の主流はターンメタル（Pb-Sn 合金）を溶融めっきしたターンシートであるが、最近、更に耐食性を高めるために Ni を鋼板表面に電気めっきした上にターンメタルを溶融めっきし^{9),25)}、均一でピンホールの少ない緻密な合金層を生成させることにより高耐食性を得ることに成功している（図2）。

2-3 排ガス系統の防錆材料

排ガス系統は高温にさらされることから耐熱性と防食性を兼ねた性能が要求され、ステンレス鋼板や溶融アルミニウムめっき鋼板が使用されている。高価なステンレ

ス鋼板の代替として素材に Ti-キルド鋼を使用した溶融アルミめっき鋼板^{9),26)}が開発されており、これは高温時、緻密な安定 Fe-Al 合金を生成し、高温酸化を防止するものである。また、安価な材料、塩害に強い材料として溶融 Al-Zn 合金めっき鋼板の使用が検討され始めた。

3. 家庭用電気製品用表面処理鋼板

家電業界は早くから防錆鋼板を採用した一つであろう。1970年頃より洗濯機の水まわり用途については耐食性向上をねらって、又内部タ品についてはコストダウン（塗装省略、加工後のめっき省略）を目的に、大幅な表面処理鋼板の採用にふみ切った²⁷⁾。鉄連の資料によれば家電向薄板中に占める表面処理鋼板の比率は1972年度は約37%であったが、1980年には49%と12%も増加し、その相当分は冷延薄板の減少となっている。

表面処理鋼板の適用範囲が冷蔵庫の後板や音響製品等の準外板用にと用途拡大されるに至り、防食性能のみでなく、表面外観や耐指紋性が問題にされるようになり、鉄鋼メーカーでもこれらのニーズに応えるべく設備の更新や操業技術の改善を行なってきた。現在に至るまでの表面処理鋼板の主流は電気亜鉛めっき鋼板、溶融亜鉛めっき鋼板、溶融合金化亜鉛めっき鋼板であったが、耐食性の向上、塗装前処理の省略等を目的とした新しい後処理鋼板が各社から発表されつつある。

一方、外板部材に対してプレコート鋼板（塗装鋼板）への切替が過去何度か行われたが、鋼板の製造技術、塗料の品質レベルが家電製品の要求特性を満たすことが出来ず、本格的採用にまで至らなかった。しかし1978年、米国のGE社でオールプレコートの冷蔵庫がNCCA²⁸⁾のデザイン賞を受賞したのを契機に、1~2年前より一部の我国家電メーカーがプレコート鋼板の採用に踏切ったため、各家電メーカー共、一斉にプレコート鋼板導入の検討を開始した。プレコート鋼板採用の最大の狙いは、コストダウンであり、次いでは家電メーカーに於ける公害対策²⁷⁾であるが、その要求品質一塗膜硬度、耐汚染性と加工性とのバランスを満たすのが難題であった。最近になり塗料は高分子ポリエステル系を中心に要求特性を満たすものができ、且つ製造技術においても、短時間色替装置の導入、フローティングオープン採用等コスト切下げの方策にも進歩が見られ、プレコート化の方向に急速に進みつつある。又塗装技術の分野でも従来の熱硬化にとどまらず、紫外線や電子線²⁹⁾を利用した硬化法も実用化されつつあり発展が期待される。

4. 建材用表面処理鋼板

建築用の素材には、耐久性、不燃性、装飾性、軽量、加工性が要求され、これらを比較的安価に満足させる素

(注) めっき付着量は $0.4502/\text{ft}^2$

図2 高耐食性ターンシートの耐食性

材として、亜鉛めっき鋼板が多く使用されている。亜鉛めっき鋼板は特に耐久性に秀れているが、家屋の耐用年数の長期化とともに種々の改善が行われている。また、需要の増大にともなって多様な意匠性の製品が使用されている(図3)。

4-1 溶融亜鉛めっき鋼板

1) 亜鉛鉄板 JIS G3302に規定される厚めっきの亜鉛めっき鋼板であり、主に屋外の屋根、壁用途に使用されている。裸で使用するものは、クロム酸などの後処理を施されるが、クロム酸の公害問題及び耐久性のより向上を狙ったクロムフリーの後処理製品³⁰⁾も使用されている。しかし屋外用途には塗装後使用されることが多く現在では亜鉛鉄板にカラーコートを施した着色亜鉛鉄板³¹⁾が最も一般的になっている。着色亜鉛鉄板にはスパングルのない均一な表面の亜鉛鉄板が主に使用される。

2) 薄めっき溶融亜鉛めっき鋼板 主に屋内で使用する塗装又はプリント鋼板用の原板として使われ、塗装性、溶接性を改善するため、合金化処理したものも使われている。

3) Zn-Al合金めっき鋼板 従来の亜鉛めっき鋼板のAl濃度を高め、耐久性を向上させたものである。代表的なものは、ベスレヘムスチールで開発されたAl 55%³²⁾のもので、ガルバリウムと称され世界的に需要が増大している。亜鉛鉄板に比べ、同一めっき付着量で数倍の耐久性があり、米国では20年の耐久性保証付で販売されている。また、Al 5%と表面外観向上のため若干の特殊元素を添加した合金めっき^{33), 34)}は裸使用時の耐久性は同一めっき付着量の亜鉛鉄板の2~3倍である。Zn-Al合金めっき鋼板の共通の課題として、塗装耐食性向上のための最適塗装薬剤の研究が進められている。さらに、Al以外の合金めっき(Mn, Mgなど)^{35), 36)}の研究もされているが実用化の段階に至っていない。

4-2 電気亜鉛めっき鋼板

薄めっき溶融亜鉛めっき鋼板と同様に屋内の塗装またはプレコート鋼板用の原板として多く使用されている。特に、厳しい加工性を要求される部位に適している。

4-3 ラミネート鋼板

屋外用途には着色亜鉛鉄板が最も一般的に使用されているが、特に高い耐候性を要求される場所には、亜鉛めっき鋼板に塩化ビニール樹脂をラミネートまたは塗布した塩ビ鋼板^{37), 38)}やその他の樹脂を接着したものが使用されている。また、断熱用に亜鉛めっき鋼板に各種の断熱材をラミネートした断熱亜鉛鉄板がある。

屋内用には薄めっき亜鉛めっき鋼板や電気亜鉛めっき鋼板に塗装し、使用時の塗装を省略したプレコート鋼板が多く使用されているが、装飾用に亜鉛めっき鋼板を素材として各種の意匠を施したプリント鋼板やエンボス鋼板など多様な製品が使用されている。

4-4 その他のめっき鋼板

耐候性鋼板としてアルミめっき鋼板が使用されている。裸使用時の耐久性は格段に優れているが³⁹⁾、比較的高価であることと塗装使用時の耐久性に劣るため限定された用途に使用されている。

5. 容器用表面処理鋼板

ブリキはハンダ付性がよく、容易に密封容器に加工できることから一世紀半以上も前から「ブリキ缶」として缶詰用に使用されてきたが、近年飲料缶を中心として缶の需要が増大すると共に、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進められている。

我国は、高価なスズめっき鋼板に替わる材料として、塗装耐食性のすぐれたクロミウムタイプのTFS (Tin Free Steel)をいち早く開発し、製缶メーカーのTFS接着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が飲料缶等に適用されるようになった当時、既に米国においてはアルミニウムD I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D I缶の製造技術の導入が進められ、TFSの確保したビール缶、炭酸飲料缶の市場へアルミニウムD I缶が急速に進出してきた。しかし鉄鋼メーカーも製缶業界と協力し、スチール缶の開発^{40), 41)}に成功し、スチールのコスト優位性をもって、我国においては徐々に再びブリキに移行しつつある。しかしアルミニウムの攻勢も厳しく、更にコストの安いD I用材料の開発⁴²⁾が進められている(図4)。

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、これらのガス飲料がD I缶に移行し

図3 建材用亜鉛めっき鋼板の生産量推移 (鉄鋼用途別受注統計より)

たことから、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（約125°C30分レトルト処理）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に問題があったが、TFSのクロムオキシドの性状^{48)~49)}および塗料の改良により実用可能となり、既に実用化されている。今後は一般食缶までTFS接着缶の適用が拡大するものと考えられる。

更に、一世紀半以上にわたって食缶に適用されてきたハンダ缶は、その後の製缶技術の進歩とハンダからくる食品のPb規制の問題から、DI缶、接着缶の他、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みつつある。

溶接缶用材料として、TFSは表面クロムめっき層を除去する必要があることから、高価なブリキが使用されているが、鉄鋼各社は安価な溶接缶用材料の開発に努めており、この1~2年以内にNiめっき鋼板^{46)~51)}、スズの極薄めっき鋼板^{52)~55)}が実用化されるものと思われる。

DRD缶は米国を中心に導入が進んでおり、材料としてはTFSの塗料密着性を生かして、塗装TFSの極薄、高強度材が実用化され拡販されつつある。

一方蓋材はハンダ付がないことから飲料缶を中心にTFS化が進み、一般食缶の分野まで適用が拡大されつつある。EOE(Easy Open End)はDI缶同様アルミニウムが先に実用化されたが、ブリキの品質の向上と製蓋

技術の進歩により、スチールEOEが実用化された。アルミニウムは塩分による腐食があることから、トマトジュース、野菜ジュース、スポーツドリンク等にはスチールEOEが使用されている。

以上缶用素材の技術動向を製缶技術の動向とともに述べて来たが、アルミニウムの他、プラスチック、紙或はこれらの複合材料、ガラス等、競合材が多く、一層より安価なスチールをベースとした素材の開発が望まれる。

6. 製造プロセスの進歩

表面処理鋼板の特徴は、その有用性が他材に比し高い事にあると考えられる。即ち、製品性能と共に、その価格もリーズナブルでなければならない。既に述べた如く新製品の開発、実用化が目まぐるしく進展しているが、これとともに製造プロセスのより一層の効率化が要求される。

鋼板の連続めっきプロセスは、従来少品種多量生産を特徴としていた。この要請は今日でも変わっていないが、更にニーズの多様化に応えるべく、同一の生産設備で異なった製品を作る多品種、多量生産への移行が始まっている。

鋼板のめっきプロセスは、連続溶融めっき、連続電気めっきが主体であり、前者では亜鉛、合金化亜鉛、アルミニウム、ターン等が、又後者ではスズ、クロム等がめっきされる。以下各分野別に動向とトピックスを紹介する。

6-1 連続溶融めっきプロセス

連続溶融めっき設備には、従来に引続き、高速化、大能力化及び省力化を図って生産性を高めることの他に、自動化やコンピューターの導入によって製品品質の均等化に対応すること、新しいプロセスを追加する事により新しい製品の製造を可能ならしめて来た。

6-1-1 高速化

連続溶融亜鉛めっきラインの処理速度はガスワイピング法により200m/min台に達している。高速化のため障害はガスワイピングで発生する亜鉛飛沫、亜鉛浴槽で発生するドロス（酸化亜鉛）の急増がその主たるものである。

前者についてはワイピングノズル先端角の減少、亜鉛浴中への持上抑制用ロールの設置で大きな効果を上げている⁵⁶⁾。ドロス発生を抑制するにはワイピングノズル周辺及び亜鉛浴面をN₂ガス雰囲気でシールする方法が効果的であり、さらに騒音も大幅に低減される。

(10億缶)

図4 日本におけるDI缶の推移

図8 E.M.P.法による片面溶融めっき装置概要

図9 U.C.P.法による片面溶融亜鉛めっき装置概要

図10 合金電気めっき操業制御概念図

図11 オンライン浴濃度分析装置

法を紹介する。芯材に Si 7~10% 含む溶融アルミめっき鋼板を用いる事により、皮材であるアルミ板との圧接は鋼-アルミの場合に比し低い圧下率で圧接でき、温間圧接で実施可能なクラッド法⁶³⁾がその一つである。後者には、従来アルミ粉末の付着力に困難のあった湿式粉末法で、やはり母材鋼板に極く少量の亜鉛を予備被覆⁶⁴⁾して、解決された事が報告されている。

6-2 電気めっきプロセス

電気めっき法にはめっき前後に鋼板母材の機械的性質が変わらず、しかも片面めっきが容易である特徴がある。このため自動車防錆鋼板として製造技術上の優位性を有している。又溶接性の点よりめっき皮膜は薄い事が望まれ、且つ省資源、省エネルギーのニーズにもマッチするため、従来の電気めっきによる厚めっき材(片面40~60g/m²)に代わって、片面20g/m²程度の薄めっきで、より高耐食性の被覆が数多く検討され、自動車メーカーで実用化されつつある。これ等の製品を大別すると亜鉛系の合金めっき、複層めっき、複合めっき及び分散めっき或はこれ等の組み合わせとなる。これ等の製造プロセスは、従来の単一金属めっきの場合と異なり、めっき液の条件設定及びめっき層の組成のコントロールに新たな努力を要求したが下記の如く、検出端及び制御機器の進歩により精度よく制御が可能となった。

めっき層の組成に影響する操業要因は、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、その他が挙げられる。これ等を厳密に制御する事により組成変動を少く抑えることが出来る。これ等の要因を正確にオンライン制御するには計算機制御が適当である。この概念図を図10⁶⁵⁾に示す。合金めっき付着量、浴濃度分析装置の一例を図11⁶⁵⁾に示す。

一方、これ等の電気めっきを効率よく行うため、新しい電解プロセスの開発も進展している。鋼ストリップの電気めっきを短時間に少数のめっきセルで行うには、適用電流密度を増大させる事が必要となる。これに伴う極間電圧の増大は単位めっ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らない範囲で最小化する、めっき浴の電導度を上げる、ストリップめっき表面の拡散層を薄くする、等の対策が考えられる。

一般に限界電流密度とめっき液流速の関係は次式⁶⁶⁾で表わされる。

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

ただし、 ie : 限界電流密度 (A/cm²)、 V : 相対流速 (cm/sec) この式より、 V を大きくするのが有効である。めっき液流速を増大させるため従来のめっき浴静置交換型に代わって、ストリップに対しめっき浴を強制的に吹きつける、いわゆる噴流型の新しいめっきセルが開発されて

いる。図12⁶⁷⁾は水平に進行するストリップに対し、めっき液を対向流として吹き込む“Jet Cell”で、亜鉛めっきにおいて 150A/dm^2 の高電流密度が可能である。さらに図13⁷⁷⁾ではめっき液を電極の中央部より吹き込み、限界電流密度がラインスピード、 150m/min 、めっき流速 45m/min にて 240A/dm^2 と更に高められた。尚約30%の電力削減がなされている。又、めっき液噴出による静圧支持力によるストリップの振動を防止し、極間距離を一定且つ最小に保つ事のできる電解セル⁶⁸⁾の検討も行われている。

容器用素材として、電気ブリキおよびティンフリースチールが製造されているが、その品質保証要求は極めて厳しい。このため各種オンライン検出端の開発実用化が進められている。例えば鋼中の非金属夹杂物をオフライン磁粉探傷法に代わってオンラインで検出する装置の開発が進められている。

6-3 今後の展望

表面処理鋼板の有用性はますます高まると共に要求も多様化すると考えられる。これに応じて製造プロセスも、前処理（プレめっき⁶⁹⁾含む）、めっき、後処理が各々多様化し、これらの組み合わせを如何に迅速に切り替え、高生産性を維持するかが主要な課題となろう。又、各種検出端、品質保証機器の開発及びこれらを用いた制御システムがより高度化し、一層の工程省略、自動化が進められよう。

当面は溶融めっき、電気めっき、塗装等既存の被覆技術の組み合わせで進展するが、将来は真空蒸着、溶射、その他の被覆技術が製品用途によっては鋼板の連続めっき技術として登場する可能性がある。

7. おわりに

各種の用途毎に、現在使用されている製品乃至は、近い将来生産されるであろう製品について記し、且つその製品を必要とした背景についても述べたつもりである。又、これらの製品を作り出すプロセス技術の進歩について紹介した。多様化してゆく商品への特性要求についてもなく、正しくとらえ得ない面が多々あったと思うが、筆者の力及ばぬ由とお許し願いたい。と共に読者の素直な御批判をお願いしたい。

本稿を執筆するに当たり、協力してくれた当社の関係者に感謝すると共に、今後共、需要家の必要とする品質をより経済的に作り出すことを念じつつ本稿を終えた。

文 献

- 1) 堀 敬二；自動車用鋼板の現状と特徴，住友金属，33，461～481（1981）
- 2) IISI/PROM/16，June 19813（1978），Annex 1
- 3) 渋谷敦義，栗本樹夫，是川公毅，野路功二；Ni-Zn

図12 ジェットセル

図13 アノードセンターインジェクションセル

合金電気めっき鋼板の耐食性，鉄と鋼，66，[7]，771～778（1980）

- 4) 渋谷敦義，栗本樹夫；Ni-Zn 合金電気めっきの皮膜組成に及ぼすめっき条件の影響，*ibid.*，'81—S333（1981）
- 5) 保母芳彦，中原秀翼，柳川欽也，芝下寿男，渋谷敦義，栗本樹夫；Ni-Zn 合金電気めっき鋼板の製造，*ibid.*，'81—S975（1981）
- 6) 渋谷敦義，栗本樹夫，西原 実，藤野允克，保母芳彦；高耐食性 Ni-Zn 合金電気めっき鋼板，*ibid.*，'82—A61～64（1982）
- 7) 渋谷敦義，栗本樹夫，野路功二，藤野允克，薄木智亮；Ni-Zn 合金電気めっき鋼板の腐食挙動，*ibid.*，'80—S372（1980）
- 8) 特開昭55—50484
- 9) 朝野秀次郎，伏野哲夫，斉藤隆穂，関屋武之，岡裏二，三吉康彦，米野 実，北沢良雄，樋口征順，北島之夫；自動車用表面処理鋼板の開発とその品質特性，製鉄研究，第304号，p. 13776～13793（1981）
- 10) 福塚敏夫，梶原和一，三木賢二；亜鉛-鉄合金電気めっき鋼板の諸特性，鉄と鋼，66，[7]，814—820（1980）
- 11) 阿南達郎，苗村 博，廣野忠夫，福田脩三，渡辺勉，由田征史；鉄-亜鉛合金電気めっき鋼板の製造法，*ibid.*，'81—S332（1981）
- 12) 松藤和雄，安谷屋武志，大村 勝，小川正浩；微量のコバルトおよびクロムを含有した高耐食電気亜鉛め

- つき鋼板の開発, 鉄と鋼, **66**, [7], 814~820 (1980)
- 13) 寺阪正二, 土谷康夫; Zn-Co-Cr 系複合電気亜鉛めつき鋼板の表面構造, *ibid.*, '80—S 373
- 14) 苗村 博, 庄司政浩, 阿南達郎; 高耐食電気亜鉛めつき鋼板の製造法, *ibid.*, '80—S 498 (1980)
- 15) 桐原茂喜, 堺 裕彦, 岩井正敏, 小久保一郎, 福塚敏夫, 三木賢二; 二層型合金電気めつき鋼板の開発, *ibid.*, '82—A 69~72 (1982)
- 16) 目黒 明, 山本 司, 相川 潤; 塗装した防錆鋼板の耐食性, トヨタ技術, **27**, 553~563 (1978)
- 17) 垂水英一, 渡辺 孝, 高橋靖雄; 自動車用表面処理鋼板について, 自動車技術, **31**, 848~856 (1977)
- 18) 特公昭54—30649
- 19) 特公昭55—1996
- 20) 特公昭55—17117
- 21) 特公昭56—4153
- 22) 特公昭56—4159
- 23) 特公昭56—4158
- 24) 木村 肇, 吉原敬久, 原田俊一; 高耐食性 Zn-Al 複合電気めつき鋼板の開発, 川崎製鉄技報, **12**, 625~636 (1980)
- 25) 樋口征順, 田野和広, 蒲田 稔, 藤永 実, 伏野哲夫; 新しいターンめつき法の開発, 日本金属学会会報, **21**, 369~371 (1982)
- 26) Yong-Wu Kim, Richard A Nickola; A Heat Resistant Aluminized Steel for High Temperature Applications, *SAE Technical Paper Series*, 800316 (1982)
- 27) 河合宏紀; これからの家電製品の塗装について, 実務誌, [10], 9~16 (1980)
- 28) 金子堅次郎; プレコート鋼板の現状, 亜鉛鉄板, **25**, [9], 1~8 (1981)
- 29) 上野長治, 岡 襄二, 岡本忠亮; Electron Beam Curing Method for Precoated Steel Sheets, *NCCA Annual Meeting Report* (1982)
- 30) 原 富啓, 小川正浩, 山下正明; 亜鉛めつき鋼板のクロムフリー化成処理技術, 日本鋼管技報, No. 91, p. 28~34 (1981)
- 31) 高村久雄, 近藤 登; 着色亜鉛鉄板25年の歩みと展望, 鉄と鋼, **66** [7], 107~113 (1980)
- 32) D. J. Blickwede; 55%Al-Zn Alloy-Coated Steel Sheet, *ibid.*, **66**, [7], 53~66 (1980)
- 33) 田野和広, 大和哲次, 高橋 洋, 沢入 泰, 永井新二, 大部 操; Zn-Al合金めつき鋼板の研究, *ibid.*, '80—S 1012 (1980)
- 34) D.C.ヘルシャット, J. ベレリン, B. ブラモード; GALFAN-溶融亜鉛めつき用合金と技術, 鉛と亜鉛, 106号, p. 1~18 (1982)
- 35) 酒井完五, 斉藤勝士, 日戸 元, 金丸辰也, 中山元広; Mg 入り溶融亜鉛めつき鋼板の開発, 鉄と鋼, '81—S 990 (1981)
- 36) 門 智, 鮎沢三郎, 渡辺 孝; Zn/Mn 二層メッキ鋼板について, *ibid.*, **66**, [7], 22~28 (1980)
- 37) 亜鉛メッキ鋼板—その種類と特徴—, 亜鉛鉄板, **25** [12], 1~11 (1981)
- 38) 亜鉛メッキ鋼板—その種類と特徴—, *ibid.*, **26** [1], 15~26 (1982)
- 39) S.G. Denner et al.; Hotdip Aluminizing of Steel Strip, *I & S*, [6], 241~252 (1975)
- 40) 日戸 元, 中野寛文, 大八木八七; D I 成形性に及ぼすブリキ品質の影響について, 鉄と鋼, **66**, [7], 979~985 (1980)
- 41) 山村 稔, 田口喜代美, 内田繁孝, 宮原 忍, 菅原功夫; 連続鋳造によるD I 缶用素材の製造, *ibid.*, '80—S 137 (1980)
- 42) 日戸 元, 大八木八七, 中野寛文; 高温生成P化合物皮膜によるD I 成形性, *ibid.*, '80—S 1019 (1980)
- 43) 前田重義, 浅井恒敏, 小俣裕保, 岡田秀弥; ティンフリースチール(クロム-クロメート鋼板)の表面オキサイド構造について, 金属表面技術協会, 第60回学術講演大会要旨集, p. 170~171 (1979)
- 44) S. MAEDA, T. ASAI, H. OMATA, H. OKADA; On the Structure of Chromium Oxide Film on TFS-CT, *Proc. of 10th World Congress of Metal Finishings*, p. 432~436 (1980, 京都)
- 45) 乾 恒夫, 西条謹二, 清水信義; TFS クロム水和酸化皮膜の加熱による構造変化, 本誌, **32**, 80~85 (1981)
- 46) 特願昭54—42967
- 47) 特願昭55—73795
- 48) 特願昭55—77015
- 49) 特願昭55—77016
- 50) 特願昭55—77017
- 51) 特願昭55—111040
- 52) 特願昭53—141881
- 53) 特願昭55—108930
- 54) H. Kuroda; Characteristics of Lightly Tin Coated Steel Sheet, *2nd International Tin Conference* (1980)
- 55) D. Salm et al.; The Development of a Low Tin Coating Mass Tinplate, *2nd International Tin Conference* (1980)
- 56) 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; 新溶融亜鉛めつき設備の設備技術と操業, 製鉄研究, 第304号, p. 13759~13775 (1981)

- 57) New Developments in Continuous Hot Dip Zinc Coating of Cold-Rolled Steel Sheet; *Industrial Heating*, [9], 24~26 (1980)
- 58) 酒井完五, 下川靖夫, 斉藤勝士, 日戸 元, 水谷 治; 酸素濃度制御近接ワイピング法の開発, 鉄と鋼, '81—S 989 (1981)
- 59) 安藤成海, 岩崎清俊, 福田豊史, 前原一雄, 小野泰太郎, 笠井研治; 溶融亜鉛メッキラインにおけるプロセスコンピュータによる亜鉛付着量制御, *ibid.*, '81—S 493 (1981)
- 60) O.V.Ireland; Armco's one-side galvanized sheet, **57**, [11], 48~50 (1980)
- 61) 北沢良雄, 樋口征順, 大和哲次, 金丸辰也, 関屋武之; 片面溶融亜鉛めっき鋼板の製造プロセスの開発と実用化 E.M.P./U.C.P., 鉄と鋼, '82—A 53—56 (1982)
- 62) 特開昭55—11188
- 63) 川崎尚男, 横本 守, 高木一字, 石田洋治, 田中孝一; Al/アルミナイズド鋼クラッド鋼板の開発, 日新製鋼技報, No. 44, p. 96~112 (1981)
- 64) 濱田元春, 久保浩士, 原田俊一; 粉末法によるアルミニウム被覆鋼板, 本誌, **31**, 652~660 (1980)
- 65) 北山 実, 斉藤隆穂, 渡辺 靖, 岡 襄二, 三吉康彦; Zn-Ni系合金電気めっき鋼板の開発と実用化, 鉄と鋼, '82—A 65~68 (1982)
- 66) 川崎元雄; 物質移動と電気メッキ, 本誌, **26**, 208~214 (1975)
- 67) 安藤成海, 才木 孝, 岩崎清俊, 小田機東, 福田豊史, 露木 明; 電気亜鉛メッキラインにおける電解セルの高効率化検討, 鉄と鋼, '81—S 334 (1981)
- 68) 酒井完五, 下川靖夫, 中野寛文, 横大路照男, 樋口惣一; 近接電解方法の研究, *ibid.*, '81—S 982 (1981)
- 69) 樋口征順, 田野和広, 蒲田 稔, 野村幸雄, 藤永 実, 伏野哲夫; 高耐食性 Pb-Sn 系合金めっき鋼板の開発, *ibid.*, '80—S 1016 (1980)