塗装講座 (第Ⅱ講)

色材, 72 [8], 525-531 (1999)

プレコート鋼板の技術動向

植田 浩平*・金井 洋*

1. 緒 言

プレコート鋼板とは、板厚 0.2mm～1.6mm 程度の薄鋼板にあらかじめ塗装を施した鋼板のことであり、プラスチックフィルムを鋼板にラミネートしたラミネート鋼板と、塗料を鋼板に塗装した塗装鋼板とがある。需要家では、この鋼板を成形加工して使用するのが一般的である。

この製品を使用することによって、需要家での塗装工程が省略でき塗装廃棄物などによる公害・環境問題の解決がはかれ、更に塗装のためのスペースを他の用途に活用できるなどのメリットがあることから、図-1 に示すようにその需要量は着実に伸びてきている。

図-1 プレコート鋼板の生産量推移

需要分野は建材分野が圧倒的に多く、主に工場や住宅の屋根壁に使用されている。一方、近年の需要量の伸びが大きいのは家電用途である。家電分野では主に家電製品の外板に使用されている。図-2 に主要家電 10 機種のプレコート化率を示す。オーディオやビデオレコーダーの鋼板は、ほとんどがプレコート化されている。冷蔵庫もドアについては 90% 以上がプレコート化されている。また、近年では加工性と耐食性に優れるプレコート鋼板が開発されたため、エアコン室外機のプレコート化率が大幅に増えている。

自動車分野においては、一部の自動車部品に使用されているのみで、需要量はまだ少ないが、今後伸びることが予想される。

本報では、プレコート鋼板の一般的な仕様、製造設備について述べた上で、家電向けを中心に近年のプレコート鋼板の開発動向を解説する。

〔氏名〕うへだ こうへい
〔現職〕新日本製鐵(株)鉄鋼研究所 表面処理研究部
〔趣味〕スキー、ゴルフ
〔経歴〕1992 年青山学院大学理工学部卒業、同年新日本製鐵(株)入社、現在に至る。

〔氏名〕かない ひろし
〔現職〕新日本製鐵(株)鉄鋼研究所 表面処理研究部
〔趣味〕ゴルフ、テニス
〔経歴〕1980 年大阪大学大学院工学研究科(修士)卒業、同年大日本インキ化学工業(株)入社、1985 年新日本製鐵(株)入社、現在に至る。工学博士。

平成 11. 4. 30 受理
Technological Trends of Pre-coated Steel sheet
Kohei UEDA and Hiroshi KANAIE

* 新日本製鐵株式会社鉄鋼研究所表面処理研究部
千葉県富津市新富 20-1 (〒293-8511)

図-2 主要家電10機種のプレコート化率

2. プレコート鋼板の代表的な仕様

プレコート鋼板の代表的な構成を図-3に示す。塗装鋼板は、表面が下塗りと上塗りの2層塗膜で、裏面は通常サービスコートと呼ばれる1層の塗膜からなっている。下塗り塗膜は、主に下地の鋼板面（塗装前処理面）との密着性、耐食性、加工性を考慮して選択される。家電用の高加工性のプレコート鋼板には、加工性の良好なポリエステル樹脂系の塗料が主に使用されている。建材用のプレコート鋼板の場合には、加工性はやや劣るが、耐食性の良好なエポキシ樹脂系の塗料がよく使用されている。上塗り塗膜は、加工性、耐薬品性、耐汚染性、硬度等を考慮して選択される。家電用、建材用共に、ポリエステル樹脂系が主流であり、家電用は、加工を受けた部分の塗膜損傷が少ないことが重要であるため、伸びの大きな高分子量のポリエステル樹脂系塗料が多く用いられている。高度な耐候性を持つフッ素系塗料の使用も建材用を中心に増えている。裏面は、ほとんどが分子量の低いポリエステル樹脂系塗料を使用している。裏面側にも表面側同様に性能や着色が必要であれば、表面と同様に2層塗膜とされる。また、切断端面の腐食性を向上するために、裏面を2層塗膜とすることもある。

ラミネート鋼板は、表面に接着剤層によってフィルムが貼り付けられており、裏面側は塗装鋼板と同様にサービスコート1層からなっている。あらかじめ多層フィルムを準備すれば、表面側は複数層の膜を形成できる。ラミネート鋼板では、加工性、耐久性に優れ、価格も比較

図-3 代表的なプレコート鋼板の構成
(上：2C2Bの塗装鋼板、下：ラミネート鋼板)

的に安い塩化ビニル系のフィルムが建材用、家電用共に多く用いられている。塩化ビニルフィルムの上にポリエチレンテレフタレート（PET）のフィルムを積層して、加工性と鮮映性を高めたフィルムが、冷蔵庫の扉用ラミネート鋼板に使われている。

塗装前処理としては、燐酸亜鉛処理、クロメート処理、複合酸化被膜処理が用いられ、塗装鋼板用には前2者が用いられている。浴管理の容易さ、処理法の簡便さから新しく建設されたラインでは、塗布型クロメート処理が多用されている。

3. プレコート鋼板の製造設備

プレコート鋼板の製造設備を図-4に示す。現在は、表裏共に2コート2バークのラインが主流である。

塗料の塗装方法としてはロールコーター方式が一般的であるが、外観品位を高めるために上塗り塗膜の塗装に

図-4 プレコート製造ライン

図-5 めっき種類・付着量と塗膜の加工限界

図-6 塗膜の機械特性とプレコート鋼板加工性の相関

は非接触で塗装されるカーテンフローコーターやローラーカーテンコーター¹⁾も適用されている。

焼き付け方法は熱風炉焼き付けが一般的であるが、炉内のクリーン化のために、間接加熱や誘導加熱炉による焼き付け方法^{2), 3), 4)}も使われている。

また、プレコート鋼板で使われる塗料はほとんどが有機溶剤系である。そのため、VOC（揮発性有機化合物）対策として、ほとんどのラインにおいて、塗料を焼き付けた後の排ガス（溶剤分）を処理する燃焼炉が取り付けられており、燃焼による熱は回収して再使用されている。

最近の製造ラインでは、家電向けの厳しい外観品を確保するためにライン内のクリーン化が徹底されている。

4. プレコート鋼板の開発動向

先にも述べたような家電分野を中心とするプレコート鋼板の用途拡大に伴い、プレコート鋼板に対する性能ニーズも多様化してきた。このニーズに答えるべくプレコート鋼板の近年の開発が進められた。プレコート鋼板は成形加工されることを前提に設計されているため、塗膜が鋼板の変形に追従して、亀裂や剝離を起こさないこ

とが重要である。成形の他に硬度、耐汚染性、耐薬品性、耐候性、耐食性、耐熱性などが用途に応じて要求される。塗膜の加工性・成形性その他の性能を両立することが技術的な課題であり、多くの研究・開発がなされている。

また、建材分野においては、景観重視、メンテナンスフリーの観点から高耐食性、高耐候性、耐雨垂れ汚染性⁵⁾等の要求が高まってきている。

プレコート鋼板に要求される性能を①成形加工性、②加工性の硬度・汚染性の両立、③耐食性、④耐候性、⑤意匠性・機能的付与、⑥接合技術、⑦環境対応、の各項目に分類し、開発動向を以下に記述する。

4.1 成形加工性

プレコート鋼板の成形加工性は2つの観点から考える必要がある。ひとつは、希望の形状に成形できるかという観点であり、もう一つは成形加工した後に塗膜に亀裂や剝離などの破壊が生じないかである。前者は主に鋼板の材質と塗膜表面の摺動性に支配される。後者は塗膜の

図-7 弾性歪みエネルギーと角筒絞り評価

図-8 架橋反応制御技術によるメラミン樹脂表面濃化機構

機械的性質、原板のめっき種、めっき付着量に支配される。後者についての詳細を以下に述べる。

図-5 はめっき種、めっき付着量と塗膜の折り曲げ加工性との関係を表したものである⁶⁾。亜鉛めっき鋼板 (Zn) の場合、めっきの付着量が多いとプレコート鋼板の曲げ加工性が低下する。これはめっき付着量が多いと加工時にめっき層に亀裂が入るためである。合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (Zn-Fe) の場合も同様にめっき付着量が多いと加工性が低下するが、めっき層が細かく割れるため、同じめっき付着量の溶融亜鉛めっき鋼板 (Zn) より加工部の塗膜は割れにくい。

曲げ加工では、表面に被覆されている塗膜には引張の歪みが作用する。そのため、図-6 に示すように曲げ加工部での塗膜破壊 (亀裂) は被覆された塗膜の伸び率と相関があり、伸び率の高い塗膜が、亀裂が入りにくく加工性が良い⁷⁾。

図-9 加工性と硬度・耐汚染性の関係

図-10 原板のめっき種類・めっき付着量と端面耐食性の関係
(沖縄での5年の暴露試験結果)

一方、プレコート鋼板を絞り加工した場合、表面に被覆されている塗膜には引張と圧縮の歪みが作用し、曲げ加工とは異なる歪み状態となる。このような歪み下では、引張の歪みによる塗膜の亀裂が発生すると同時に、圧縮の歪みにより塗膜が座屈し、剥離しやすい。このような加工部位における塗膜の破壊は、塗膜が変形した後に塗膜内部に蓄積される弾性歪みエネルギーの大きさに相関があり (図-7)、弾性歪みエネルギーの小さい塗膜が絞り加工部で塗膜が破壊しにくいといわれている⁸⁾。

4.2 加工性と硬度・汚染性の両立

塗膜の伸び率は、例えば塗膜のガラス転位点 (T_g) と樹脂の分子量などでコントロールされる。同じ程度の分子量の樹脂を使用した場合は、 T_g が低い塗膜ほど加工性がよい傾向にあるが、それに反して硬度、耐汚染性などの塗膜性能は低下するため、加工性と硬度、耐汚染性との両立は従来困難とされてきた。

これに対し、塗膜を傾斜構造にすることによってこれらを両立する技術が確立されている。ポリエステル/メラミン樹脂系塗膜において、塗膜表面に硬質なメラミン樹脂を濃化させ、塗膜内部のメラミン樹脂濃度は低く抑

図-11 エアコン室外機各部位の赤錆発生幅
(宮古島暴露3年)

える技術である。本技術には表面自由エネルギーの差を利用するもの⁹⁾と、塗膜中で起こる架橋反応を制御するもの¹⁰⁾が知られている。図-8に後者の技術によるメラミン濃化機構を示す。塗膜の焼付過程で、塗膜表面付近の酸性度をあげることによって、酸性雰囲気下での反応の早いメラミン樹脂を選択的に反応させ、表面付近にメラミン樹脂を濃化させるものである。本技術を適用することで、図-9に示すように加工性と硬度、耐汚染性の両立が可能となった。

また、最近では、塗膜中に剛直部分と柔軟部分を有するオリゴマーを配合することによって加工性と硬度とを両立する技術も開発されている¹¹⁾。

4.3 耐食性

プレコート鋼板は切断端面が露出しているためにこの部分からの腐食が問題にされるが、図-10¹²⁾に示すように犠牲防食効果の大きい亜鉛めっき鋼板(Zn)を用い、めっき付着量を多くすることで端面からの腐食は実用上問題のないレベルになることが明らかにされている。一方、亜鉛-ニッケル合金めっき鋼板(Zn-Ni)を原板として用いた場合には、端面からの耐食性が悪く、合金化溶融亜鉛めっき鋼板(Zn-Fe)は溶融亜鉛めっき鋼板に比べて塗膜の膨れはやや小さいが赤錆の発生はやや多い傾向である。亜鉛-5%アルミ合金化めっき鋼板は、溶融亜鉛めっき鋼板より端面からの腐食が小さく、近年建材用を中心にプレコート鋼板の原板として拡がりつつある。

従来、プレコート鋼板の屋外での使用は建材用途が中心であったが、加工性に優れ、高耐食性にも優れるプレコート鋼板の開発により、エアコン室外機など屋外で 사용되는家電製品にもプレコート鋼板が使用されるようになった。図-11は従来のポストコートとプレコートと

図-12 ハルスハイブリッド樹脂の耐候性

比較した宮古島での暴露試験結果であるが、プレコート鋼板は優れた耐食性を有する¹³⁾。

4.4 耐光性

耐光性の良い塗膜としてはフッ素樹脂系の塗膜が良く知られているが、プレコート鋼板においても特に建材用としてメンテナンスフリー等の理由から、耐光性の良いフッ素樹脂系の塗膜を用いたものが増加しつつある。

また、フッ素樹脂系に匹敵する耐光性を有する塗膜として、有機樹脂からの水素引き抜きに起因するラジカル連鎖に伴う光酸化劣化を防止したハルスハイブリッド樹脂を有するプレコート鋼板¹⁴⁾の開発例も報告されている(図-12参照)。

4.5 意匠性・機能性の付与

プレコート鋼板の普及に伴い、意匠性や機能性を付与したプレコート鋼板が開発されている。

Mechanical joint **Rivet joint**

図-13 機械接合の代表例

塗膜中に金属分、樹脂ビーズ、骨材など添加する事で、塗装外観にメタリック外観、パール調外観、ざらつき外観を持たせた意匠性プレコート鋼板やエンボスロールにて凸凹模様を形成させた意匠性プレコート鋼板が開発されている。また、粉体塗料のような微少な凸凹外観を保有するユズ肌調外観のプレコート鋼板も開発されており、傷が付きにくく、付いても目立ちにくいことから、冷蔵庫、エアコン室外機等の家電用品の外板に使用されている¹⁵⁾。

また、耐熱性が高く、且つ食品等が付着しにくい耐熱ノンスティック性を付与したのも開発され、ガスコンロ、電子レンジなどに使用されている¹⁶⁾、¹⁷⁾。塗膜中に抗菌剤を付与した抗菌性プレコート鋼板も開発されている¹⁵⁾。

4.6 プレコート鋼板の接合技術

プレコート鋼板は予め鋼板もしくはめっき鋼板上に絶縁被膜である塗膜が被覆されているため、溶接による接合が困難である。そのため、プレコート鋼板の接合方法としては、機械的接合や接着接合などが主となる。図-13に機械的な接合法の例を示す。機械的な接合、接着接合は接合部の腐食試験による耐久性も問題ないことが確認されている¹⁸⁾。

接着接合は、狭い部分の接合が可能であり、作業性も良好でかしめのように加工性も必要ないことから用途分野が広がりつつある。接着接合に適したプレコート鋼板としては、塗膜表面の官能基量を制御して、塗膜と接着剤の馴染みを良くするようにしたものが開発されている¹⁹⁾。また、塗膜の代わりに接着剤を予め塗布することで、需要家における鋼板上への接着剤塗布工程が省略できるプレコート鋼板も開発されている²⁰⁾。

4.7 環境対応

近年、環境問題が取りざたされている。先にも述べたように、プレコート鋼板化が進む動きも環境対応の一環であるが、より環境に優しいプレコート鋼板の開発が進められている。例えば、VOCを含有しない粉体塗料や水系塗料を用いたプレコート鋼板の開発²¹⁾、塩化ビニル系の塗膜やフィルムが被覆してある塩ビ鋼板の代替品としてのポリプロピレンフィルム系のラミネート鋼板や厚膜タイプのウレタン系プレコート鋼板の開発²²⁾、Crを全く含まないプレコート鋼板の開発などが挙げられる¹⁵⁾、²²⁾、²³⁾。

5. 結 言

プレコート鋼板は、建材用途、家電用途を中心に広く普及してきた。環境問題への対応、需要家における製造原価の低減からプレコート化への動きは更に進むと考えられる。

プレコート鋼板の技術も普及に伴い多様化し、発展してきた。今後の技術課題には、脱重金属や脱溶剤など環境負荷物の低減が挙げられ、更には、現在ではプレコート鋼板化があまり進んでいない自動車用途への普及が今後期待される。

文 献

- 1) H. Knai, H. Kotani, H. Iwakura, S. Koga, J. Oka: Proceeding of 1st Pacific Coating Forum, 198 (1995).
- 2) 梶田保之, 日下武夫, 新田浩一, 間島康弘, 石川博司: 材料とプロセス, **3**, 692 (1990).
- 3) 古山輝夫, 富田稔, 小谷英夫, 岩倉英昭, 村田利通, 古賀重信, 金井洋, 岡譲二: 材料とプロセス, **7**, 614 (1994).
- 4) 金井洋, 岡譲二, 小谷英夫, 村田利通: 塗装工学, **33** (12), 493 (1998).
- 5) K. Sasaki, T. Nomura: GALVATECH '98, 290 (1998).
- 6) 金井洋, 西岡良二: プレス技術, **33** (10), 28 (1995).
- 7) 金井洋, 上野長治, 窪田克則, 岡譲二: 材料とプロセス, **2**, 574 (1989).
- 8) 植田浩平, 西岡良二: 塗装工学, **33** (10), 399 (1998).
- 9) 壺岐島健司, 薄木智亮, 須藤妙子, 八内昭博, 塩田俊明: 色材, **64** (12), 780 (1991).
- 10) 金井洋, 岡譲二, 堤正也: まてりあ, **33** (6), 802 (1994).
- 11) 吉田啓二, 佐々木健一, 山下正明: 材料とプロセス, **11**, 1216 (1998).

- 12) 金井洋, 山崎隆生, 野村広正, 西岡良二: 塗装工学, **32** (6), 212 (1997).
 - 13) 植田浩平, 西岡良二: 材料とプロセス, **10**, 1235 (1997).
 - 14) 木全芳夫, 野村広正, 西岡良二, 吉田雅也, 中崎三男: 材料とプロセス, **11**, 1217 (1998).
 - 15) 金井洋, 野村広正, 本田和彦, 木全芳夫, 植田浩平: 新日鉄技報, **47**, 371 (1999).
 - 16) 窪田克則, 金井洋, 岡譲二: 材料とプロセス, **2**, 647 (1989).
 - 17) 菅原広志, 坂井哲男, 福本博光, 前田康治, 森本昌孝, 竹尾学: 日新製鋼技法, **67**, 134 (1993).
 - 18) 本田和彦, 野村広正, 西岡良二, 古川博康: 材料とプロセス, **10**, 605 (1997).
 - 19) 西岡良二, 岡譲二: 溶接学会誌, **59** (2), 69 (1990).
 - 20) 古川博康, 金井洋: 塗装工学, **33** (2), 67 (1998).
 - 21) 神田勝美: 色材, **71** (9), 560 (1998).
 - 22) 例えば 鉄鋼新聞: 12/25 (1998).
 - 23) 例えば 日刊工業新聞: 10/14 (1998).
-