

塗装工程省略可能なプレコート鋼板

Prepainted Steel Sheets Usable without Painting

金 井 洋⁽¹⁾

Hiroshi KANAI

野 村 広 正⁽²⁾

Hiromasa NOMURA

本 田 和 彦⁽²⁾

Kazuhiko HONDA

木 全 芳 夫⁽²⁾

Yoshio KIMATA

植 田 浩 平⁽³⁾

Kohei UEDA

抄 録

塗膜の構造を制御することによって加工性と硬度、耐汚染性とを両立する塗料技術、端面の耐食性を確保するための塗装原板と塗料技術、溶接に代わる機械的あるいは接着結合技術など、プレコート鋼板の欠点をカバーし、用途・需要拡大に貢献した技術の概要を述べた。併せて、塗膜のきずを目立ちにくくできるゆず肌調外観を持つプレコート鋼板、抗菌性プレコート鋼板、深絞り可能なプレコート鋼板など、最近開発された製品についても解説した。

Abstract

Here is given an overview of technologies that have contributed to increased applications and uses of prepainted steel sheets while offsetting the disadvantages of prepainted steel sheets. Included are painting technology that combines formability with hardness and stain resistance by controlling paint film structure, base steel and painting technology that ensure edge corrosion resistance, and mechanical and adhesive bonding technologies that take place of welding. Prepainted steel sheet products recently developed are also described, including prepainted steel sheet with a "orange peel" that masks paint film defects, antibacterial prepainted steel sheet, and deep-drawable prepainted steel sheet.

1. 緒 言

プレコート鋼板とはあらかじめ塗装を施した鋼板のことで、この鋼板を用いることによって、家電メーカーなどの需要家での塗装工程が省略できる。プレコート鋼板の代表的な構成と仕様を図1に示す。表面はプライマー塗膜とトップ塗膜の2層からなり、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。原板は一般的には溶融亜鉛めっき鋼板、電気亜鉛めっき鋼板などの表面処理鋼板である。

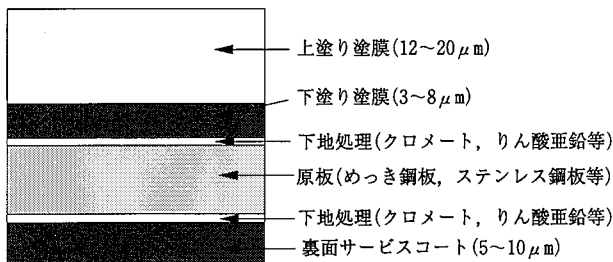


図1 プレコート鋼板の代表的な構成と仕様

2. プレコート化の進展

国内の家電向けプレコート鋼板の出荷量は1980年代に大きく伸び、特に家電製品用のプレコート鋼板は1994年には1981年の約3倍の30万トン/年が生産されるようになった¹⁾。また、2004年には自動販売機など一部の機種を除いてほぼ100%がプレコート化されるとの予測もなされている²⁾。

このように需要が伸びたのは、家電メーカーの要求性能に応えられる性能を持つプレコート鋼板が開発されたこと、家電メーカーでプレコート鋼板を使用するノウハウが蓄積されてきたことによる。家電メーカーからの報告では、プレコート化が進展した理由として、塗装省略、溶接省略、油省略による作業環境の改善や排出物の低減、生産のリードタイムの削減、塗装における不良率の低減、仕掛かり・半製品在庫の削減等が挙げられている^{3,4)}。琵琶湖周辺や下流域など、環境規制が早い時期に施行された地域の工場では、環境規制に低コストで対応できる手段としてプレコート鋼板の採用が進んだことも事実である。

3. プレコート鋼板の欠点の克服

過去10年間のプレコート鋼板の開発は、主にプレコート鋼板の欠点を克服することに力を注いできた。プレコート鋼板の主な欠点は、

*⁽¹⁾ 鉄鋼研究所 表面処理研究部 主幹研究員 工博
千葉県富津市20-1 ☎293-8511 ☎(0439)80-3119

*⁽²⁾ 鉄鋼研究所 表面処理研究部 主任研究員

*⁽³⁾ 鉄鋼研究所 表面処理研究部 研究員

- (1)加工性と硬度、耐汚染性とが両立しにくい
 - (2)端面部の耐食性に不安がある
 - (3)溶接ができず他の接合方法を採用する必要がある
- の3点であった。しかし、以下に述べるように、これらの欠点はほぼ解消されている。

3.1 加工性と硬度、耐汚染性との両立

樹脂組成や塗料配合の改善によって、加工性と硬度、耐汚染性とを両立しようとする研究がなされていたが、必ずしも成功していなかった。しかし、メラミン樹脂を塗膜表面に選択的に濃化させることによって、加工性を維持したまま硬度と耐汚染性とを向上させる技術が開発され、従来にない性能の塗膜が得られるようになった。この技術は、新日本製鐵のビューコート4型として実用化されており^{8,9)}、樹脂組成や塗料配合の改善技術との組み合わせによって、加工性と硬度、耐汚染性とが高いレベルで両立できるように

なっている。ビューコート4型の性能例を従来の他の製品と比較して表1に示す¹⁰⁾。

3.2 端面部の耐食性

端面部の耐食性については、沖縄の海岸地区における5年間の曝露試験結果から、適切なめっき付着量の溶融亜鉛めっき鋼板をプレコート鋼板の原板として用いることで十分に確保できることが明らかにされた¹¹⁾。

図2は曝露試験後の端面部からの塗膜膨れ幅や赤錆発生幅と、めっき種類との関係を示している。端面からの赤錆発生を防止するためには、プレコート鋼板の原板として溶融亜鉛めっき鋼板や、亜鉛-アルミニウム合金めっき鋼板を使用することが適切であることが分かる。

また、図3に溶融亜鉛めっき鋼板の板厚(mm)をめっき付着量(g/m²)で割った値(亜鉛比指数と称する)と、曝露試験後の端面部

表1 新日本製鐵のプレコート鋼板(商品名“ビューコート”)の性能例(塗膜の色:白系)

| 評価項目 | 評価方法 | 一般商品 | | | | | | | | | |
|-------|---|------------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------|--------------------|----------------|---------|---------|----|--|
| | | I型 | | II型 | | III型 | | IV型 | | V型 | |
| | | 高加工型 | 加工性、表面物性 バランス型 | 耐汚染性型 | 高加工・耐汚染性型(万能型) | 高耐食性型 | 高耐食性、 高耐候性型 | | | | |
| 表面硬度 | 鉛筆硬度試験(きず法) | F~H | HB~H | H | F~H | F~H | H~2H | HB~H | | | |
| 加工性 | JIS G 3312 180° 折曲げ | 20°C(EG/Gi) | 0T/2T | 3~4T/6~7T | 5~6T/- | 0T/2T | 0~1T/2T | >8T/- | 0T/2T | | |
| | 後の塗膜クラックの限界 | 0°C(EG/Gi) | 4T/6~7T | 8T/- | >8T/- | 2T/4T | 3T/5T | - | 2T/4T | | |
| 耐食性 | JIS Z 2371 塩水噴霧試験 240h後のふくれ 幅mm(クロスカット部) | (EG/Gi) | 1~3/0~2 | 1~3/0~2 | 1~2/- | 1~3/0~2 | 1~3/0~2 | 2~3/1~2 | 1~2/0~1 | | |
| 耐汚染性 | マジック塗布後エタノールで拭き取り判定: 痕跡の程度 | 赤 | × | △ | ○ | ○ | △ | △~× | ○ | | |
| | | 青 | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎~○ | ○ | ◎ | | |
| | | 黒 | △~× | ○~△ | ◎~○ | ◎~○ | △ | △ | ○ | | |
| 耐候性 | サンシャイン・ウエザオ メーター 500h | 色変化(ΔE) | 1.5 | 1.3 | 1.9 | 0.4 | 0.5 | 1.5 | 0.3 | | |
| | | 光沢保持率(G.R.) | 63 | 65 | 78 | 74 | 94 | 80 | 99 | | |
| 耐薬品性 | 5%NaOH×24h浸漬 5%H ₂ SO ₄ ×24h浸漬 | 光沢保持率(G.R.) | 85 | 95 | 100 | 88 | 96 | 98 | 99 | | |
| | | 光沢保持率(G.R.) | 92 | 99 | 100 | 94 | 99 | 93 | 100 | | |
| 塗膜密着性 | JIS G 3312 基盤目試験後のテープ テスト | 100/100:剥離なし | 100/100 | 100/100 | 100/100 | 100/100 | 100/100 | 100/100 | | | |
| 適用用途例 | | 証明器具反射板, VTRキャビネット等 | 洗濯機外板, 石油 ファンヒータ置台, エアコン室内機等 | 冷蔵庫扉材, 側板等 | エアコン室外機外板・内部部品, 洗濯機外板等 | トラックあり板, 冷蔵庫裏板等 | エアコン室外機 外板等 | | | | |

◎優れている ○良好 △やや劣る ×劣る

| 機能系商品 | | | |
|--|-----------------|-----------------------------------|--|
| VI型 | A型 | B型 | C型 |
| 耐熱 ノンスティック型 | 接着接合可能型 | ごむ接着剤塗布 工程省略型 | 超深絞り型 |
| ふっ素ポリエーテルスルホン 2H(破壊法) | 高分子ポリエステル | 特殊高分子ごむ系 | 高分子ポリエステル |
| (アルシート)4T | F~H | HB | F~H |
| - | 0T/2T | 3T/4T | 2T/- |
| (アルシート)2~3 | 1~3/0~2 | - | 1~3/0~2 |
| ◎ | ● | - | ▲~× |
| ◎ | ◎ | - | ◎~● |
| ◎ | ◎~● | - | ▲ |
| - | 1.0 | - | - |
| - | 68 | - | - |
| - | 76 | - | 85 |
| - | 95 | - | 98 |
| 100/100 | 100/100 | 100/100 | 100/100 |
| 電子レンジ内板, オーブントースター 内板, ガスコンロ天板等 | 冷凍ショーケース 棚板等 | 自動車用ウエザース トリップ芯材, メダルガスカート等 | 自動車用オイル フィルター, エアフィルター, ガソリタンク等 |

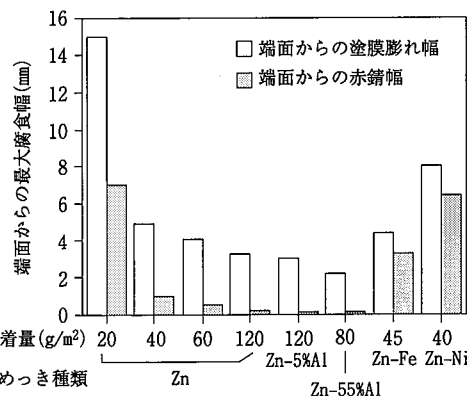


図2 原板のめっき種類、めっき付着量と端面腐食との関係—沖縄での曝露試験5年の結果—

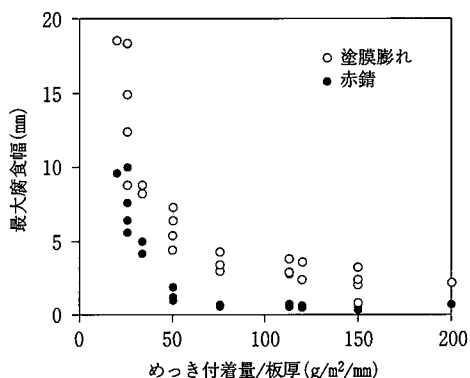


図3 めっき付着量と板厚の比が沖縄海岸地区における5年間の曝露後の端面耐食性に与える効果(めっき付着量20~138g/m²,板厚0.5~1.0mm)

からの腐食幅との関係を示す。亜鉛比指数が70~75以上であれば、沖縄の海岸地区で5年間曝露しても端面部からの赤錆発生幅は目立たないレベルに抑えられることが分かる¹¹⁾。この知見を基に原板を選定し、更に塗装系の改良を進めることで¹¹⁾、長期間屋外で使用されても問題ない耐食性を持つ溶融亜鉛めっき鋼板を原板とするプレコート鋼板が開発された。

図4にこのプレコート鋼板(プレコートB)をエアコンディショナー(エアコンと称す)室外機に成形したもの(めっき付着量60g/m²,板厚0.7mm,亜鉛比指数86)を、宮古島の海岸地区で3年間曝露し、実際に使用されているポストコート品(原板として合金化溶融亜鉛めっき鋼板を使用,めっき付着量と板厚はプレコート鋼板原板と同じ)と耐食性を比較した結果を示す¹²⁾。図5にエアコン室

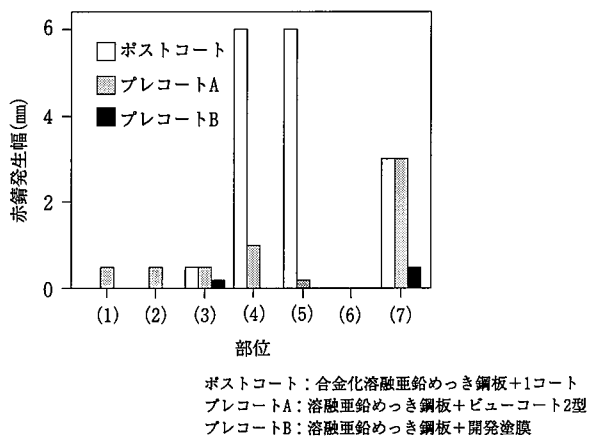


図4 沖縄曝露5年後のエアコン室外機の部位別の赤錆発生幅

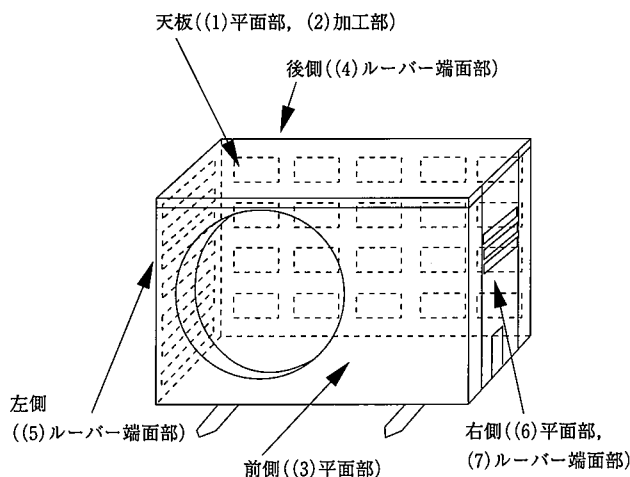


図5 曝露試験したエアコン室外機の外観と腐食観察箇所

外機の形状と観察部位とを示す。開発されたプレコート鋼板(図中のプレコートB)は、端面部も含め、観察したすべての部位でポストコートよりも赤錆の発生が少ないことが分かる。エアコン屋外機用プレコート鋼板は、すでに10年以上にわたり耐食性に関する問題を起こすことなく使用されている。

3.3 機械的接合と接着接合

溶接に変わる接合方法としては、機械的な接合と接着接合とが検討されている。図6に機械的接合2種類と接着接合の強度をスポット溶接と比較した結果を示す。試験片の形状は図の通りである。機械的接合として、Tog-L-Loc¹³⁾、打込みリベット¹⁴⁾を、接着剤としてフィルム型ポリエステル接着剤を用いた。原板は板厚0.8mmの溶融亜鉛めっき鋼板(GI)である。機械的接合は1点当たりの強度ではスポット溶接に劣るが、剪断強度と剥離強度との差が小さく、接合形状の工夫や接合点数を増やすことで強度を確保することが可能で、多くの用途で実用化されている。

接着は剪断強度は非常に高いが、逆に剥離強度は低い。剥離試験では応力が端部の小さい面積に集中するため、接合面の剛性を高くし接着面積を大きくすれば強度は向上できる。接着性に優れたプレコート鋼板も開発されている^{10,15)}。

図7にプレコート鋼板どうしを接合した部材をサイクル腐食試験(CCT)したときの、引張剪断強度の変化を調べた例を示す¹⁶⁾。接合方法として、機械的接合のTog-L-Loc、TOX¹⁷⁾、打込みリベットと、2液ウレタン系接着性による接着接合を用いた。CCTのサイクル数は表2に示す。CCTのサイクル数が増えると剪断強度が低下するが、破壊はいずれも母材で起こっており、剪断強度の低下は母材の劣化によると思われる。従って、これらの接合方法は、プレコート鋼板が使用できる環境であれば十分に使用可能であると考えられる。

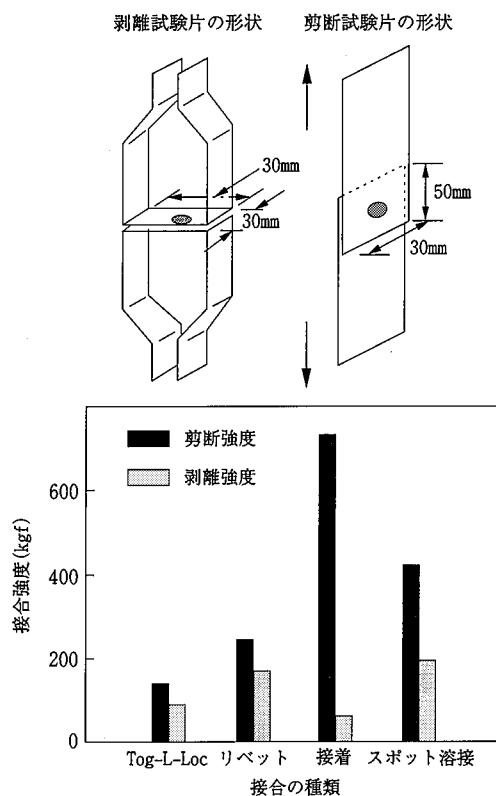


図6 接合種類と強度(0.8mmの板同士の接合,スポット溶接は溶融亜鉛めっき鋼板+溶融亜鉛めっき鋼板,他はプレコート鋼板+プレコート鋼板)

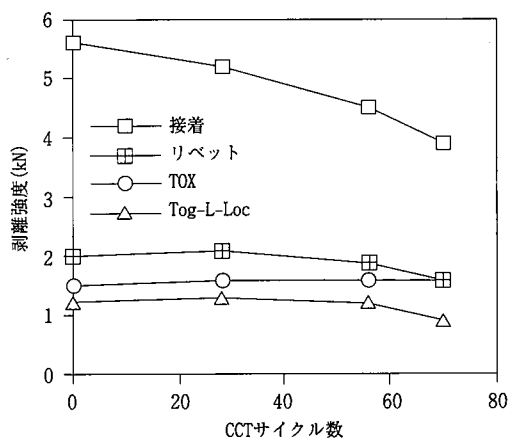


図7 プレコート鋼板同士の接合部のリサイクル腐食試験後の剥離強度(板厚0.65mm, ポリエステル系塗装)

表2 サイクル試験の条件(N-CCT)

| 試験順序 | 試験項目 | 条件 | 試験時間 |
|------|------|-------------|------|
| 1 | 塩水噴霧 | 5%NaCl, 35℃ | 6h |
| 2 | | 条件変更 | 1h |
| 3 | 乾燥 | 70℃, 60%RH | 4h |
| 4 | | 条件変更 | 2h |
| 5 | 湿潤試験 | 49℃, 95%RH | 4h |
| 6 | | 条件変更 | 2h |
| 7 | 冷凍 | -20℃ | 4h |
| 8 | | 条件変更 | 1h |
| | | 1サイクル時間 | 24h |

以上のように、従来プレコート鋼板の欠点と言われていたことは、現在ではかなり解決されている。このことがプレコート鋼板の需要量の拡大に直接繋がっている。

4. 新しいプレコート鋼板

従来にない機能を持つプレコート鋼板として耐熱性があり、食品の焦げ付きを防止できる耐熱ノスティック型^{10,18)}、接着剤が事前に塗布してあり、接着剤の塗布工程を省略できる接着剤塗布型^{10,19)}などが実用化されてきた。表1にこれらの機能性を付与したプレコート鋼板の性能例を示す¹⁰⁾。現在でも、需要家から要求される新たなニーズに対応するために、いろいろな機能を付与したプレコート鋼板が継続的に開発されている。その中からいくつかの例を紹介する。

4.1 ゆず肌調の外観

これまでのプレコート鋼板の塗膜は、非常に平滑で凹凸が少ないことが特徴であり、ポストコートの塗膜に見られるようなゆず肌が無いことが一つの長所とされてきた。しかし、需要家によっては製品の一部にだけプレコート鋼板を採用するケースがあり、この場合には一般的に塗膜がゆず肌であるポストコートと、平滑な肌のプレコートとの外観の差が問題となる。また、塗膜が同じ鉛筆硬度を持っていても、平滑な肌に比べてゆず肌のほうが傷や欠陥が目立ちにくい特徴があることも明らかになってきた。そこで、塗料中に特殊な添加剤を加え、塗料を塗布してから硬化するまでの間の流動を制御することで、意識的にゆず肌を形成する技術が開発された。塗膜にmmオーダーの滑らかな凹凸を形成することでゆず肌外観を出

表3 ゆず肌調プレコート鋼板の特徴

| | 特徴 |
|----|---|
| 長所 | <ul style="list-style-type: none"> 製品の運搬時やプレス時に傷が付いても目立ちにくい 基本的な塗膜性能は平滑肌の塗膜と変わらない 平均塗膜は平滑肌の塗膜と同じ程度 ポストコートの肌と似ており、混在しても目立たない |
| 短所 | <ul style="list-style-type: none"> ゆず肌になりにくい塗料がある |

している。表3に示すような特徴を持っており、幅広い用途で実用化されている。

4.2 抗菌性

病原性大腸菌O-157による食中毒事件などをきっかけとして、さまざまな製品に抗菌性が付与されている。新日本製鐵でも需要家からの要望に応え、冷蔵庫、冷凍庫、電子レンジ等の食品関連機器向けに、大腸菌に対する抗菌性を付与したプレコート鋼板を開発した。抗菌剤を含有する塗膜を鋼板上に形成することによって抗菌性を付与したもので、技術的なポイントは、

- (1)抗菌剤の種類を選択することによって熱による失活(活力喪失)と、光による還元反応とを抑制した
- (2)従来にない担持体を用いることで菌が繁殖しやすい環境で選択的に抗菌物質が放出される

の2点であり、これによって抗菌性を長期間保持することができる。

図8に、開発した抗菌プレコート鋼板を様々な環境に曝した後の生菌数減少係数D24を示す。比較として抗菌剤の担持体として従来から用いられているゼオライトを用いた場合を示す。生菌数減少係数D24は、 $\log\{(\text{抗菌材の試験後の生菌数}) / (\text{ブランク材の試験後の生菌数})\}$ で表され、一般的には、この値が-2以下であれば抗菌性があると判断される。図8から、開発されたプレコート鋼板の大腸菌に対する抗菌性は十分高く、かつ、多様な環境におかれても従来技術に比べて抗菌性が変化しにくいことが明らかである。

4.3 深絞り成形²⁰⁾

薄鋼板の代表的な成形加工方法として曲げ加工と絞り加工がある。家電製品の成形には曲げ加工が多いため、これまで塗膜物性と曲げ加工性との関係についてはいくつかの研究がなされてきた。図9は塗膜の抗張力と伸び率との関係をプロットし、それぞれの塗膜

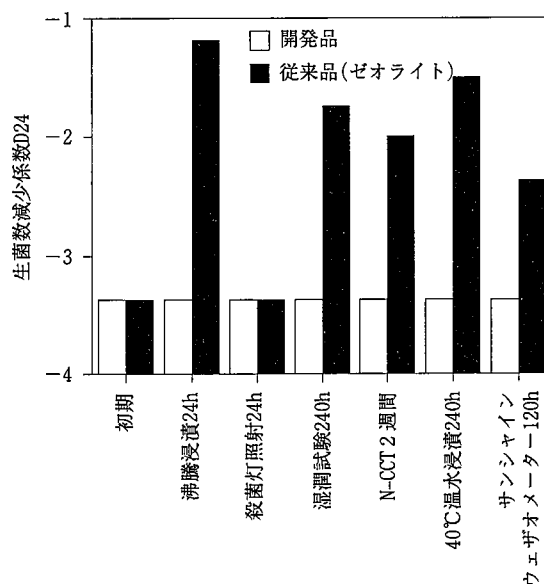


図8 抗菌プレコート鋼板の抗菌性保持性

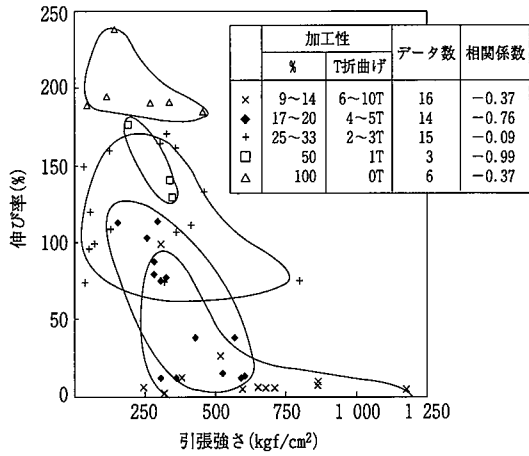


図9 T折曲げ加工性に及ぼす塗膜の伸び率と抗張力との影響

が形成されたプレコート鋼板の加工性のレベルによって層別したものである。たとえば△は0T加工が可能な塗膜のグループで、塗膜の伸び率は200%近い。同様に1T加工可能な塗膜では伸び率は約150%程度、2Tから3Tでは約80~160%となっている。このように、伸び率が高い塗膜が曲げ加工性に優れている²²⁾。また、同じ加工性を持つ塗膜のグループの中では、1Tのグループ(□)や4~5T(◆)のグループで顕著に見られるように、伸び率が低くても抗張力が高い塗膜は曲げ加工性に優れる傾向のあることが分かる。

一方、塗膜物性と絞り加工性との関係については研究例がほとんどなかった。しかし、家電製品でも照明器具などには深い絞りの形状があり、また新たなプレコート鋼板の用途として注目される自動車部品には深絞り加工性が必須である。そこで、塗膜物性と絞り加工性との関係について検討した²¹⁾。

図10に4種類の塗膜の引張伸び率と応力との関係を示す。クロメート処理した溶融亜鉛めっき鋼板にプライマー塗膜を形成し、その上にこれらの塗膜を形成したプレコート鋼板を、表4の条件で角筒絞りと円筒絞りをを行い、成形後の塗膜の損傷を観察した結果を図11に示す。C、Dの塗膜は伸び率が高く、曲げ加工性は良好であるが、角筒絞りでは塗膜にしわが発生し剥離した。絞り加工性は塗膜の伸び率では整理できないことが明らかである。

そこで、弾性歪みエネルギーを求め、絞り成形性との関係を調べた。弾性歪みエネルギーは、塗膜に伸びを加え、伸び率が40%に達したら塗膜が縮む方向にクロスヘッドを動かし、荷重が0になるまでの荷重と変位を測定することによって図12のように算出した。図13に求めた弾性歪みエネルギーと角筒絞り後の塗膜の損傷状態との関係を示す。弾性歪みエネルギーが小さい塗膜ほど絞り加工後の塗膜の損傷(しわや剥離)が少なく、絞り成形性に優れることが分かる。塗膜中に蓄積された弾性歪みエネルギーが塗膜を剥離する仕事として使われるため、これが大きい塗膜ではしわや剥離が生じやすいものと考えられる。

弾性歪みエネルギーの低い塗膜を用いたプレコート鋼板を、表4に示す条件で円筒絞り成形した後にクロスカットを入れて500時間の塩水噴霧試験を行うと、弾性歪みエネルギーの大きい塗膜CやDを用いたプレコート鋼板ではクロスカット部で塗膜の剥離が発生するが、弾性歪みエネルギーの小さい塗膜AやBの場合には塗膜の剥離は発生しない。図11に示すように、円筒絞りのままではいずれの塗膜を用いても塗膜の剥離は発生しなかったが、腐食環境に置かれると腐食によって塗膜の密着性が低下するため、弾性歪みエネルギー

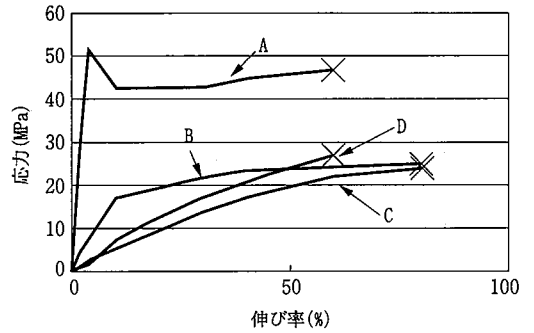


図10 絞り成形試験を行った塗膜の機械特性

表4 絞り成形試験の条件

| | 角筒絞り | 円筒絞り |
|---------|-----------|--------|
| ポンチ肩R | 3mm | 3mm |
| ダイ肩R | 3mm | 3mm |
| ポンチサイズ | 70×70mm | 50mmφ |
| プランクサイズ | 140×140mm | 100mmφ |
| 成形高さ | 30mm | 絞り抜き |

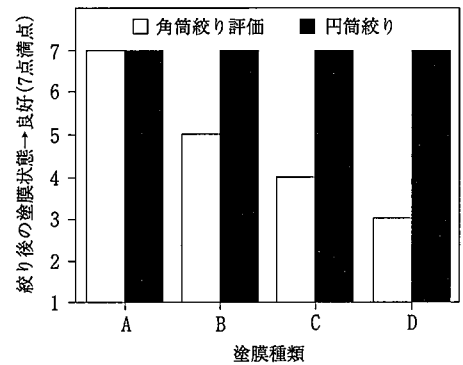


図11 塗膜種類による絞り成形試験後の塗膜損傷状態の差

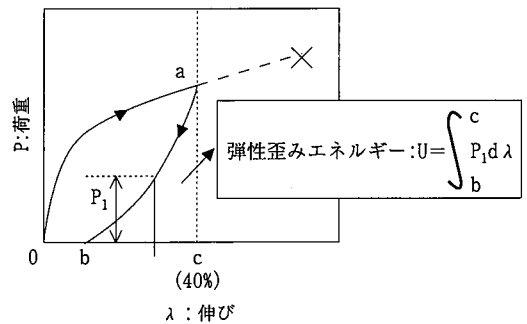


図12 弾性歪みエネルギーの測定方法

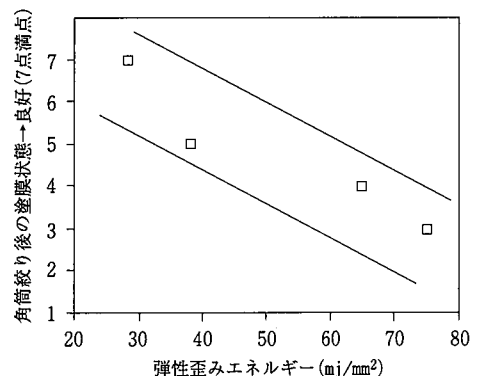


図13 弾性歪みエネルギーと角筒絞り後の塗膜状態の関係

ギーの大きな塗膜では剥離が発生しやすくなるものと思われる。

以上の研究から、塗膜Aのようにある程度の弾性率を有し、降伏点伸びを持つような塗膜が弾性歪みエネルギーが小さく、絞り加工には適していると考えられた。この知見を基に、絞り加工性に優れたプレコート鋼板が開発され、照明器具用や自動車のオイルフィルター用など深絞り性が要求される用途に実用化されている。

4.4 高耐候性²²⁾

塗膜の耐候性を向上するために、光劣化の原因となるラジカルを不活性化する効果のあるヒンダードピペリジン構造と、塗膜の吸湿性を抑える効果のあるシクロヘキサン構造を分子中に組み込んだ新しいポリエステル樹脂塗膜が開発された。この塗膜のサンシャインウェザオメーター試験の結果を図14に示す。開発した塗膜の耐候性は一般のポリエステル樹脂やシリコンポリエステル樹脂による塗膜に比べてかなり良好で、ふっ素樹脂との比較からもかなり高い水準にあることが分かる。屋外用途向けの製品として実用化を検討中である。

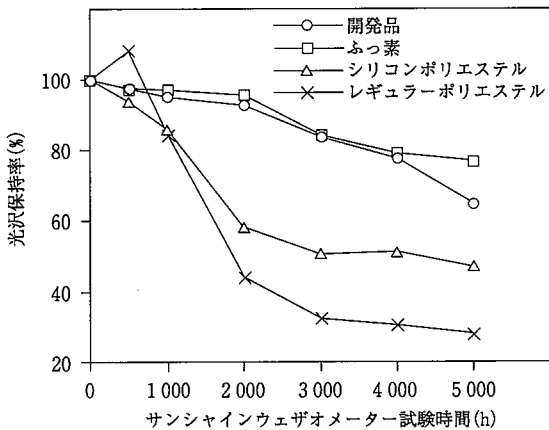


図14 開発した高耐候性塗膜のサンシャインウェザオメーター試験結果

5. 結 言

プレコート鋼板の欠点を克服する技術の開発と、塗膜に新しい機能を付与する最近の技術について述べた。プレコート鋼板は、需要家での塗装工程を省略できる環境にやさしい製品である。今後も色々な産業で塗装工程を省略するニーズが出てくると思われる。需要家の方々と十分に対話し、無駄の無い開発をタイムリーに進めたい。なお、本号の別稿で、クロム化合物を全く使用しないプレコート鋼板の開発について述べている。そちらも参考にいただければ幸いである。

参考文献

- 1) 金井洋: 塗装工学, 38(3), 322(1998)
- 2) 神田勝美: 色材協会誌, 71(5), 328(1998)
- 3) 川本清四郎, 村上碩哉, 江波俊明: プレス技術, 33(7), 101(1995)
- 4) 河野泰久: プレス技術, 33(10), 43(1995)
- 5) 生田三郎: プレス技術, 33(10), 48(1995)
- 6) 臼井進一: プレス技術, 33(10), 52(1995)
- 7) 金井洋, 岡襄二: 鉄と鋼, 83(11), 725(1997)
- 8) 金井洋, 岡襄二, 堤正也: 新日鉄技報, (353), 24(1994)
- 9) 金井洋, 岡襄二, 堤正也: あたりあ, 33(6), 802(1994)
- 10) 新日本製鐵株式会社: ビューコートカタログ
- 11) 金井洋, 山崎隆生, 野村広正, 西岡良二: 塗装工学, 32(6), 212(1997)
- 12) 植田浩平, 西岡良二: 材料とプロセス, 10, 1235(1997)
- 13) 三洋機工株式会社: Tog-L-Loc技術資料
- 14) 福井鋳鋼株式会社: 打込みリベット技術資料
- 15) 西岡良二, 岡襄二: 溶接学会誌, 59(2), 69(1990)
- 16) 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)
- 17) リックス株式会社: TOX技術資料
- 18) 窪田克則, 金井洋, 岡襄二: 材料とプロセス, 2, 647(1989)
- 19) 古川博康, 金井洋: 塗装工学, 33(2), 67(1998)
- 20) 植田浩平, 西岡良二: 塗装工学, 33(10), 399(1998)
- 21) 金井洋, 上野長治, 窪田克則, 岡襄二: 材料とプロセス, 2, 574(1989)
- 22) 木全芳夫, 野村広正, 西岡良二, 吉田雅也, 中崎三男: 色材, 64(9), 589(1991)