

技術資料

塗装溶融55mass% Al-Zn合金めっき鋼板の温間ロール成形

細見 和昭* 坂戸 健二** 仲子 武文*** 朝田 博**** 清水 剛*****

Warm Roll Forming Technology for Pre-Painted Hot-dip 55mass%Al-Zn Alloy Coated Steel Sheet

Kazuaki Hosomi, Kenji Sakato, Takefumi Nakako, Hiroshi Asada, Takeshi Shimizu

Synopsis:

In order to improve formability and corrosion resistance of pre-painted hot-dip 55mass%Al-Zn alloy coated steel sheet (pre-painted GL), warm roll forming technology was examined. The results are as follows.

- (1) Al-Zn alloy coating layer of GL is softened and has plasticity to bend 90 degree by radius 1 mm without crack at 100°C-150°C. The polyester coating film is softened at 100°C-150°C too. So warm forming is effective to improve formability of pre-painted GL.
- (2) When pre-painted GL was roll-formed by bending radius 1 mm at 105°C-200°C, there were no crack in Al-Zn alloy coating layer and polyester coating film. So it shows good corrosion resistance, there were no white rusts after 185 cycles of cyclic corrosion test (CCT). On the other hand, when it was roll-formed at room temperature, cracks occurred in both Al-Zn alloy coating layer and polyester coating film. Therefore, white rusts occurred in the bent corner at 185 cycles at CCT.

1. 緒言

塗装溶融55mass% Al-Zn合金めっき鋼板（以下、GLカラーと略す）は塗装溶融亜鉛めっき鋼板（以下、GIカラーと略す）に比べて耐食性に優れており、屋根や外壁などの外装建材を中心に使用量が増加している。

GLカラーを外装建材に用いる場合、意匠性、剛性を付与するため、凹凸形状がロール成形法により形成される。しかし、GLカラーはGIカラーに比べてめっき層が硬質なため、厳しい加工を受けるとめっき層と塗膜にクラックが発生する。このため、曲げ加工部の外観や耐食性が損なわれるという問題点がある。

GLカラーのめっき層のクラックを抑制するため、めっき後に長時間の加熱処理を施してめっき層のAl相とZn相の分離を促進して軟化する方法が報告されている¹⁾。また、塗膜のクラックを抑制するため、一般的な低分子

ポリエステル塗膜の代わりに高延性の高分子ポリエステル樹脂系塗料を塗装する方法が報告されている²⁾。しかしながら、長時間の加熱処理や高分子ポリエステル樹脂系塗料への変更はコストの上昇になる。

これらの課題を解決するため、塗膜やめっき層のクラック抑制が期待できる温間加工技術に着目した。温間加工の一例を以下に示す。GIカラーでは、塗膜のガラス転移温度以上で加工することにより、塗膜が軟質化して加工性が改善することが報告されている³⁾。また、合金化溶融亜鉛めっき鋼板では200°C以上でめっき層の延性が向上することが報告されている⁴⁾。

このような知見から、低分子ポリエステル塗膜を用いたGLカラーに温間加工技術を適用することにより、低コストでめっき層と塗膜のクラック抑制が可能と考え、温間ロール成形技術の検討を行った⁵⁾。

本報では、はじめに90°曲げ加工でGLカラーのめっき層と塗膜のクラックに及ぼす加工温度の影響を調査し

*技術研究所 加工技術研究部 加工第一研究チーム 主任研究員

**技術研究所 塗装・複合材料研究部 塗装材料研究チーム 主任研究員

***技術研究所 加工技術研究部 加工第一研究チーム チームリーダー

****技術研究所 加工技術研究部 加工第一研究チーム チームリーダー（現 レーザ溶接形鋼開発チーム チームリーダー）

*****技術研究所 表面処理研究部 表面処理第一研究チーム チームリーダー（現 研究企画チーム チームリーダー）

た。次に、その結果をもとにロール成形を行い、GLカラーの曲げ加工性、耐食性に及ぼす加工温度の影響を調査したのでその結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材

表1に供試材の明細を示す。GLカラーの塗装原板は板厚0.5mmとし、片面当りのめっき付着量は、90°曲げ加工に65g/m²、ロール成形に50g/m²の溶融55mass% Al-Zn合金めっき鋼板（以下、GLと略す）を用いた。また、比較材のGIカラーの塗装原板には板厚0.5mm、片面当りのめっき付着量79g/m²の溶融亜鉛めっき鋼板（以下、GIと略す）を用いた。

これらの塗装原板をアルカリ脱脂後、塗布型クロメート処理を施し、下塗り塗装（プライマー）にエポキシ樹脂系塗料を塗装・焼付け後、上塗り塗装（トップコート）に低分子ポリエステル樹脂系塗料を塗装して焼付けを行った。

2.2 90°曲げ加工

90°曲げ加工にてめっき層と塗膜のクラックに及ぼす加工温度の影響を調査した。90°曲げ加工方法を図1に、加工条件を表2に示す。パンチ先端半径は1mmとした。パンチと供試材を電気炉で加熱し、パンチは曲げ加工開始温度に到達後、電気炉から取り出してプレス機にセットした。また、供試材は曲げ加工開始温度に対して+50℃に到達後、電気炉から取り出してプレス機にセットし、曲げ加工開始温度まで下がった時点で90°曲げ加工を開始した。なお、ダイは加熱せず室温とした。

90°曲げ加工した供試材の曲げ加工部の頂点部分を切り出して光学顕微鏡で断面観察し、めっき層と塗膜のク

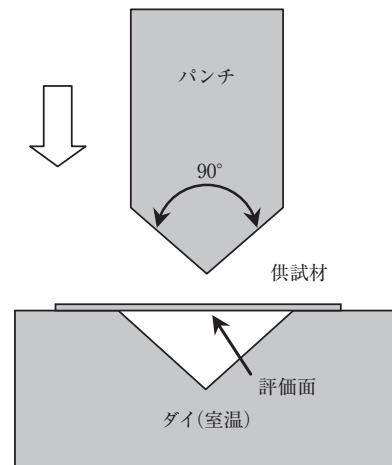


図1 90°曲げ加工方法
Fig. 1 Schematic drawing of 90° bending.

表2 90°曲げ加工条件
Table 2 90° bending conditions

項目	条件
パンチ先端半径	1.0mm
供試材温度	室温, 50℃, 100℃, 150℃

ラック発生状況を調査した。

2.3 めっき層の硬さと塗膜の押込み深さ

温間加工によるGLカラーのめっき層と塗膜の加工性改善原因を調査するために25～200℃間で55mass% Al-Zn合金（GLめっき層組成）インゴットと0.2mass% Al-Zn合金（GIめっき層組成）インゴットのビッカース硬さおよび低分子ポリエステル塗膜の押込み深さを測定した。測定条件を表3に示す。

表1 供試材の明細
Table 1 Specifications of specimens

項目	GLカラー	GIカラー
板厚	0.5mm	0.5mm
サイズ	90°曲げ加工：50mm×50mm ロール成形：W185mm×L850mm	90°曲げ加工：50mm×50mm
塗装原板の種類	溶融55mass% Al-Zn合金めっき鋼板	溶融亜鉛めっき鋼板
塗装原板のめっき付着量	90°曲げ加工：65g/m ² ロール成形：50g/m ²	90°曲げ加工：79g/m ²
下塗り塗膜（プライマー）	エポキシ樹脂，膜厚5μm	エポキシ樹脂，膜厚4μm
上塗り塗膜（トップコート）	低分子ポリエステル樹脂，膜厚17μm	低分子ポリエステル樹脂，膜厚14μm

表3 ビッカース硬さ試験条件および押し込み深さ測定条件

Table 3 Vickers hardness testing conditions and penetration depth measuring conditions

試験項目	試験条件
ビッカース硬さ	供試材：55mass% Al-Zn合金（GLめっき層組成）インゴット， 0.2mass% Al-Zn合金（GIめっき層組成）インゴット 荷重：0.49N，供試材温度：25～200℃
押し込み深さ測定 （熱機械分析法）	供試材：GLカラー（低分子ポリエステル塗膜） プローブ径：1mm，荷重：0.098N 供試材温度：25～200℃

2.4 温間ロール成形

2.4.1 温間ロール成形方法

図2に実験に用いた温間ロール成形機の概略を示す。供試材の加熱のため近赤外線加熱炉を入側に付設し、曲げ加工には12段ロール成形機を用いた。図3に近赤外線加熱炉の概略を、表4に近赤外線加熱炉の仕様を示す。近赤外線加熱炉の加熱部長さは1,400mmであり、近赤外線加熱ヒーターを上側と下側にそれぞれ幅方向に5mm

表4 近赤外線加熱炉の仕様

Table 4 Specifications of Near-infrared heating furnace

項目	仕様
最大エネルギー波長	1.2 μ m
近赤外線ヒーター加熱部長さ	1,400mm
近赤外線ヒーター数	上側：6本，下側：6本
最大出力	1.2kW
最大投入素材幅	200mm

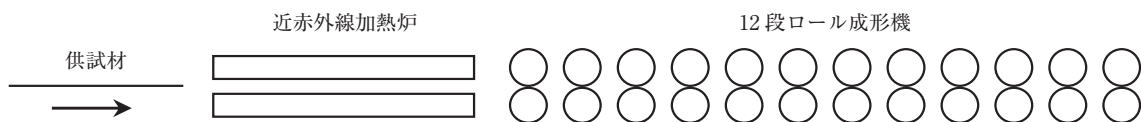


図2 温間ロール成形機の概略

Fig. 2 Schematic drawing of warm roll forming machine.

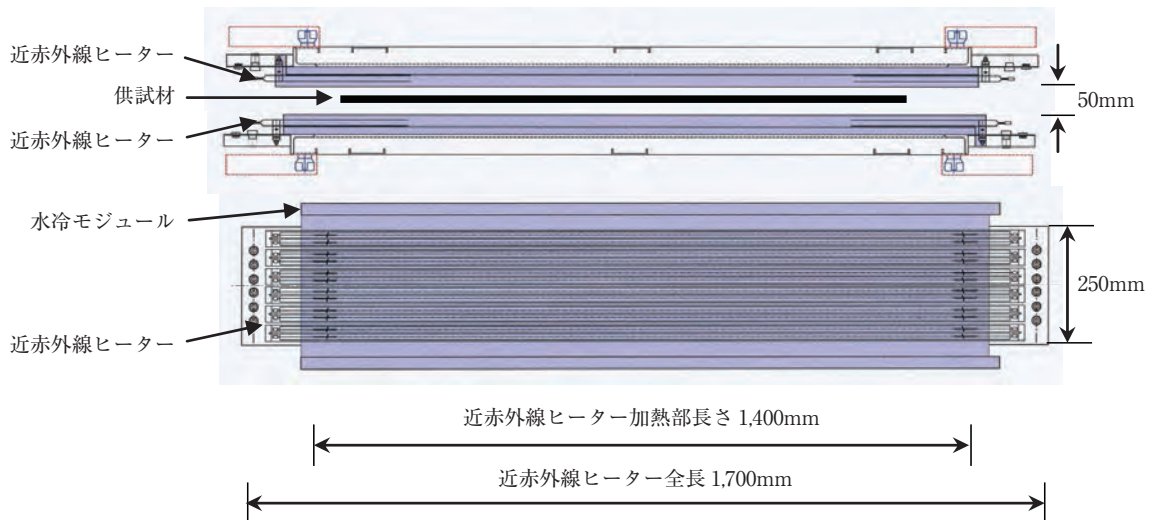


図3 近赤外線加熱炉の概略

Fig. 3 Schematic drawing of Near-infrared heating furnace.

間隔で6本有し、上下方向から供試材を加熱する構造となっている。

近赤外線加熱炉は一般的な熱風加熱炉などと比べて以下の特徴を有している⁶⁾。

- (1) 輻射加熱方式でエネルギー密度が大きく、昇温速度が速い。
- (2) 材料温度の制御性、応答性に優れる。
- (3) 設備がコンパクトである。
- (4) 起動時間が2~3sと短く、停止も瞬時である。

温間ロール成形では板厚、めっき付着量、塗膜種、塗膜厚み、曲げ半径等のロール成形条件によって加熱温度を適正範囲内に制御する必要がある。上述のように、近赤外線加熱炉は加熱温度の制御性に加えて昇温速度が速く、短時間で起動、停止ができるなどのメリットがあることから、温間ロール成形の加熱方法に用いた。

温間ロール成形は供試材を搬送装置で近赤外線加熱炉内を連続的に移動させながら加熱後、引続きロール成形機を通板した。なお、ロールは加熱せずに室温とした。また、放射温度計で加熱炉出側と各ロール出側での供試材温度を測定した。

2.4.2 温間ロール成形条件

表5にロール成形条件を示す。供試材にGLカラーを用い、近赤外線加熱炉で100、200℃に加熱（均熱保持なし）後、図4に示すハット形状にロール成形した。なお、ロールの曲げ半径は1mmとした。

ロール成形後、供試材の曲げ加工部の断面を光学顕微鏡で観察し、めっき層と塗膜のクラック発生状況を調査した。また、ロール成形後の曲げ加工部の耐食性を調査

表5 ロール成形条件
Table 5 Roll forming conditions

項目	条件
供試材温度	室温, 100℃, 200℃
ロール温度	室温
通板速度	15m/min

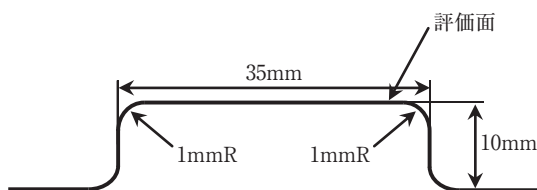


図4 ロール成形形状
Fig. 4 Shape of the roll formed section.

するため図5に示すように成形品を70°傾け複合サイクル腐食試験（JIS K5600-7-9, 以下CCTと略す）を行った。

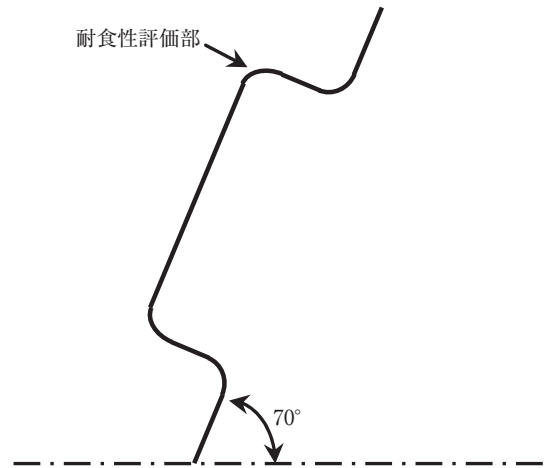


図5 複合サイクル腐食試験におけるサンプル設置状態
Fig. 5 Specimen setting status in cyclic corrosion test.

3. 実験結果と考察

3.1 90°曲げ加工におけるめっき層と塗膜のクラックに及ぼす加工温度の影響

90°曲げ加工におけるGLカラーの曲げ加工性に及ぼす加工温度の影響を調査した。図6にGLカラーと比較材であるGIカラーの曲げ加工部の断面写真を示す。

GIカラーは供試材温度が室温の場合、めっき層にクラックの発生は認められなかったが、塗膜にクラックが発生した。供試材温度が50℃の場合も同様であったが塗膜に生じたクラックの口開き量は室温の場合に比べて小さかった。供試材温度が100℃および150℃の場合、めっき層と塗膜にクラックの発生は認められなかった。

それに対してGLカラーは供試材温度が室温の場合、めっき層と塗膜を貫通するクラックが観察された。供試材温度が50℃の場合、室温と同様にクラックが発生したが、クラック数は減少し、クラックの口開き量は小さかった。供試材温度が100℃および150℃の場合、GIカラーと同様にめっき層、塗膜ともにクラックの発生は認められなかった。

図7に55mass% Al-Zn合金（GLめっき層組成）と0.2mass% Al-Zn合金（GIめっき層組成）のビッカース硬さに及ぼす供試材温度の影響を示す。55mass% Al-Zn合金のビッカース硬さは供試材温度25℃では約100HV

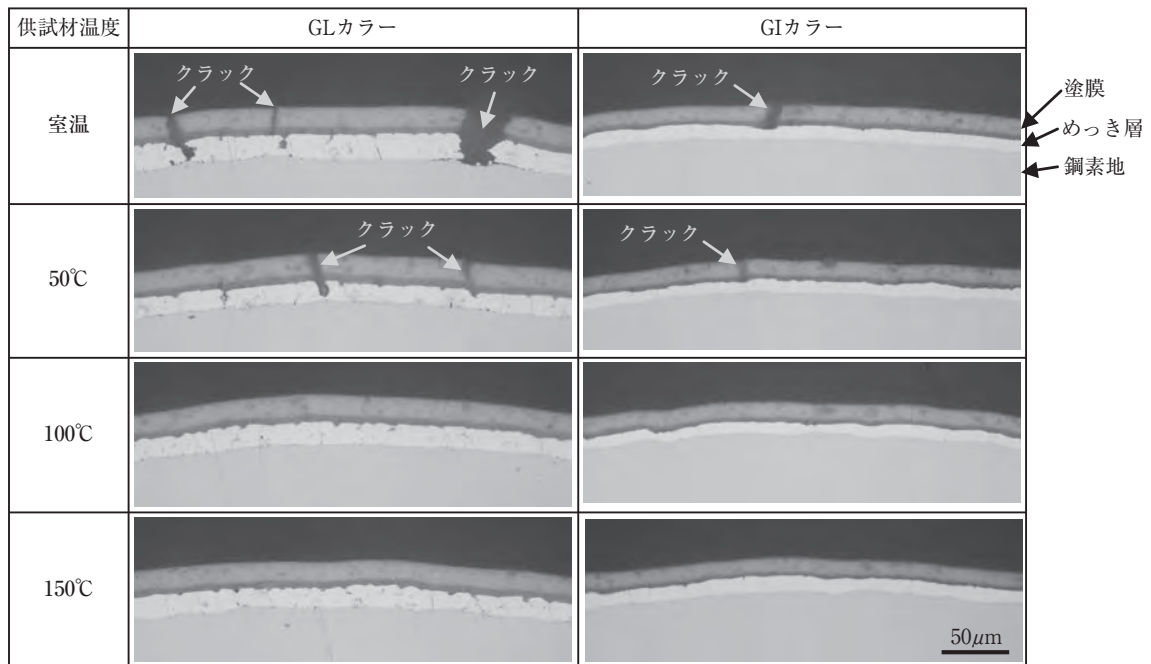


図6 曲げ加工部の断面(90°曲げ, 曲げ半径1mm)
Fig. 6 Cross-sectional structures of bending position.

であるが、供試材温度が上昇するにしたがって硬さが低下し、供試材温度150°Cで約45HVとなった。これは供試材温度25°Cにおける0.2mass% Al-Zn合金のビッカース硬さ約50HVより軟化していた。

図8に低分子ポリエステル塗膜の押し込み深さに及ぼす供試材温度の影響を示す。低分子ポリエステル塗膜の押し込み深さは供試材温度が上昇するにしたがって深くなり、塗膜は軟化していた。

本結果から、GLめっき層は100~150°Cに加熱すると軟化し、室温加工でクラックが発生しないGIレベルまで加工性が改善すると推察する。また、低分子ポリエステル塗膜も加熱すると軟化して伸びが改善すると考える。

以上のとおり、GLカラーのめっき層と塗膜のクラックを抑制するには100~150°Cに保持しながら加工する必要があることがわかった。

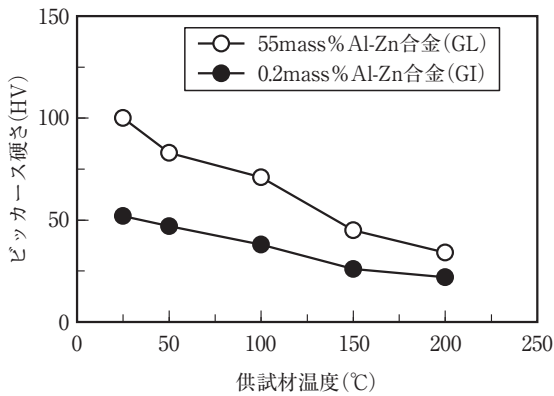


図7 55mass% Al-Zn合金のビッカース硬さに及ぼす供試材温度の影響
Fig. 7 Effect of specimen temperature on Vickers hardness of 55mass% Al-Zn alloy.

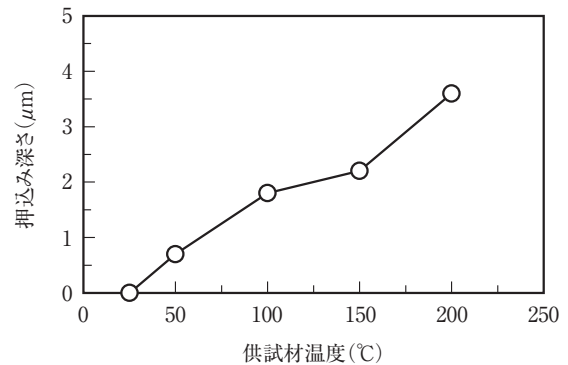


図8 低分子ポリエステル塗膜の押し込み深さに及ぼす供試材温度の影響
Fig. 8 Effect of specimen temperature on penetration depth of low molecular weight polyester coating film.

3.2 温間ロール成形条件の検討

図9に加熱温度100℃と200℃でロール成形した場合の各ロール出側の供試材温度の測定結果を示す。加熱された供試材は室温のロールと接触して徐々に温度が低下したが、加熱温度100℃の場合、供試材は55～100℃でロール成形された。また、加熱温度200℃の場合、供試材は105～200℃でロール成形された。

図10にGLカラーの各供試材温度におけるロール成形後の曲げ加工部の断面観察結果と、CCT185サイクル後の外観写真を示す。室温加工の場合、ロール成形後の曲げ加工部はめっき層と塗膜のクラック発生が著しく、CCT185サイクルで曲げ加工部全体に白錆が発生した。それに対して、供試材温度55～100℃でロール成形した場合、めっき層と塗膜のクラック発生は軽微に抑えられており、白錆の発生は極わずかであった。さらに供試材

温度105～200℃でロール成形した場合、めっき層と塗膜のクラックが完全に抑えられて白錆は発生せず、曲げ加工性と耐食性の改善効果が認められた。また、本節のロール成形の結果は前節で述べた図6の90°曲げ加工結果とよく一致していた。

以上のことから、GLカラーを55～100℃で温間ロール成形することによりめっき層と塗膜のクラックが軽微になり、105～200℃でめっき層と塗膜のクラックが完全に抑えられて耐食性が改善することがわかった。

4. 結言

GLカラーの加工性と耐食性を改善するために温間加工技術の検討を行った。90°曲げ加工におけるめっき層と塗膜のクラックに及ぼす加工温度の影響を調査し、その結果をもとに温間ロール成形による加工性、耐食性改

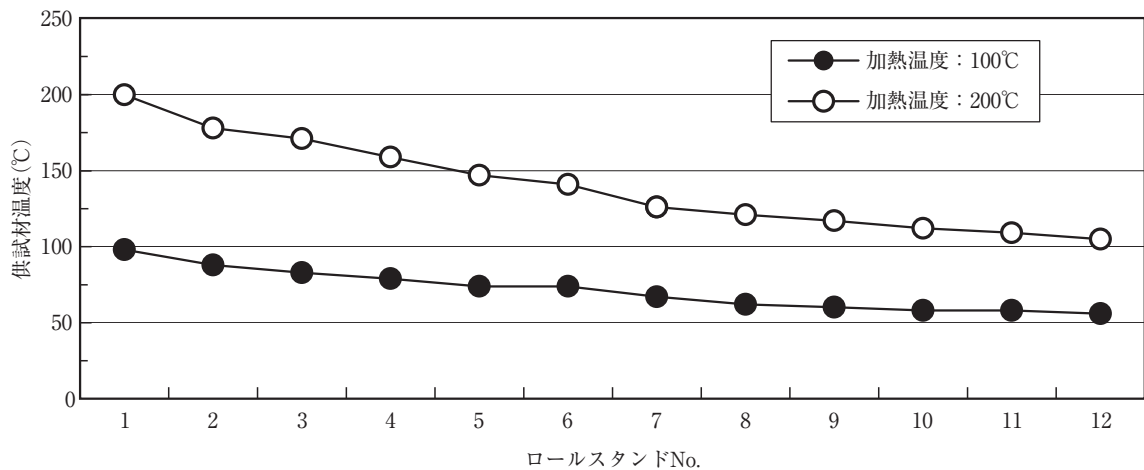


図9 ロール成形中の供試材温度
Fig.9 Specimen temperature during roll-forming.

ロール成形中の供試材温度	ロール成形後の曲げ加工部の断面	CCT185 サイクル後の曲げ加工部の外観
室温	クラック	白錆発生
55～100℃	クラック	白錆発生
105～200℃	50μm	10mm

図10 ロール成形後の曲げ加工部の断面およびCCT185サイクル後の曲げ加工部の外観
Fig.10 Cross-sectional structure of bending position after roll forming and appearance of bending position after CCT185 cycles.

善効果の検証を行った。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 90°曲げ加工においてGLカラーのめっき層は100～150℃に加熱すると軟化して室温加工でクラックが発生しないGIレベルまで加工性が改善した。また、低分子ポリエステル塗膜も加熱すると軟化して伸びが向上しており、温間加工によるめっき層と塗膜の加工性改善効果が認められた。
- (2) GLカラーを室温で内側曲げ半径1.0mmにロール成形した場合、めっき層と塗膜のクラック発生が著しく、CCT185サイクルで曲げ加工部全体に白錆が発生した。それに対して、55～100℃で温間ロール成形した場合、めっき層と塗膜のクラックが軽微になり、105～200℃でめっき層と塗膜のクラックが完全に抑えられて白錆が抑制された。

以上の結果から、温間ロール成形技術は低コストで、GLカラーを用いた屋根や壁などの外装建材の厳しい加工を受ける部位の外観および耐食性改善に効果を発揮すると考える。

参考文献

- 1) 公開特許公報：特開2002-275645
- 2) 山下正明, 稲垣淳一, 吉田啓二, 山地隆文, 石川博司, 大熊俊之：NKK技報, 178 (2002), 11.
- 3) 坂井哲男, 小沢弘典：日新製鋼技報, 45 (1981), 56.
- 4) 中村登代充, 竹林浩史, 中田匡浩, 土岐保：CAMP-ISIJ, 20 (2007), 1174.
- 5) 細見和昭, 坂戸健司, 仲子武文：塑性加工連合講演会講演論文集, 64 (2013), 109.
- 6) 齊藤正明：パウダーコーティング, 8 (2008), 13.