塗装講座 (第Ⅶ講)

色材, 73 [8], 408-412 (2000)

インモールドコーティング

米持建司*

1. はじめに

インモールドコーティング (IMC, 型内被覆) 法はプラスチック成形金型内で成形品表面に被膜を形成する技術で, 広義には二つの方法が実用化されている。金型にあらかじめ粉体塗料や溶剤型塗料を塗布してから成形するプリモールドコーティング法と, SMC などの成形を行った後, 同一の金型内に塗料を注入して成形品表面に被膜を形成するインモールドコーティング法がある。本稿では広く実用化されている後者のインモールドコーティング (IMC) 法について概説する。

2. インモールドコーティングの歴史と種類

IMC の歴史は, 熱硬化性成形材料である SMC による圧縮成形品の表面欠陥を効果的に改善する方法として, 1970 年代にゼネラルモータースから提唱された。この IMC 法は, 金型内に塗料を注入する際一旦金型を開き, 成形品と金型面との隙間に注入する方法であるが, IMC 塗膜中に気泡, バリ等を巻き込んだり, 抜き角度の小さな立て壁面に塗布されにくい等の欠点があった。この方法を下記の高圧インモールドコート法と区別するため, 従来 IMC 法と呼ぶ。この従来 IMC 法の欠点を解決する方法として, 成形サイクル中は金型を開けることなく, 金型内圧力をかなり越える圧力で塗料を注入する高圧インモールドコート法²⁾ (HPIP) がシャーウィン・ウィリアムス社から開発され日本でも実用化されている。以下, 高圧インモールドコート法を中心に記述する。

3. SMC の塗装上の問題点

SMC (シートモールディングコンパウンド) 成形品は耐熱性があり, 焼付け型塗料がそのまま使用でき, 鋼板と同時塗装が可能であることから, 早くから自動車外板のプラスチック化の素材として採用されてきた。

一方塗装によって生じやすい問題点として, ①塗膜にピンホールが発生しやすい②塗膜の平滑性が得られにくい③プライマーの付着性が劣る, などがあげられる。とくに塗膜のピンホー

ルは SMC 表層に存在する素穴 (ポロシティ) が原因といわれている。この素穴に塗料中の溶剤が浸透して滞留したり, 塗膜で素穴をふさぎ, 塗料を焼付ける際の熱によって閉じこめられた溶剤や空気が膨張, 噴出し塗膜上にピンホールを発生させると考えられている。

4. 高圧インモールドコート法 (HPIP)

4.1 成形プロセス

IMC 法の基本プロセスは SMC の成形, IMC 剤の注入, IMC 剤の硬化, 成形品の脱型の各工程から成る。図-1³⁾に HPIP のシステムデザインを示す。成形の 1 サイクルは SMC 成形材料が金型内にチャージされ, プレスがスタートすると Resin Supply Pump から Injection Pump へ 1 ショット分の IMC 剤が計量供給される。次いで IMC 剤の注入圧力に耐えうる程度に SMC が硬化した段階で, Injector のシャットオフピンが開き, Injection Pump の油圧シリンダーが働き, ピストンが前進し IMC 剤が金型内に高圧で注入される。このときの IMC 剤注入圧力は最大約 350 Kgf/cm², 注入時間は成形品の大きさ, 注入量にもよるが 2~8 秒である。注入完了後再びピ

図-1 HPIP 法のシステムデザイン

〔氏名〕 よねもち けんじ
〔現職〕 大日本塗料(株)技術本部 技術開発部 専任課長
〔趣味〕 スポーツ, 美術鑑賞
〔経歴〕 1969年同志社大学工学部工業化学科卒業, 同年大日本塗料(株)に入社, 熱硬化性成形材料, 成形加工, プラスチック用塗料の研究に従事, 現在に至る。

平成 12.5.10 受理

In-Mold Coating

Kenji YONEMOCHI

* 大日本塗料株式会社

愛知県小牧市三ツ渚字西の門 878 (〒485-8516)

ンが閉じ、SMC および IMC 剤が硬化完了し成形品を脱型し終了となる。この間金型は途中で一度も開けられることはない。

4.2 IMC のための設備

4.2.1 成形プレス機

IMC 剤の金型内での均一流動を可能にするために、SMC をいかに均質なものに成形しておくかは重要であり、成形プレス機は多段圧力制御と平行維持機構を備えたものが必要である。

4.2.2 IMC 剤注入機

インモールドコートを行うためには所定量の IMC 剤を金型内に注入するための装置が必要である。HPIP は専用の装置があり、所定量の IMC 剤を高圧で送るユニットと、金型に取り付けて IMC 剤の ON/OFF を制御するインジェクターから成る。

4.2.3 金型設計

IMC を行う上で金型設計は IMC 剤の流動性を左右する重要な要素である。HPIP における金型設計上のポイントについて以下に示した。

a. IMC 剤の注入位置 (インジェクターの取り付け位置)

インジェクターの取り付け位置は IMC 剤の流動距離が最短となり放射状に拡散する中央部が基本である。しかし、成形品形状によっては末端から注入の方が好ましいケースもあり、十分吟味する必要がある。インジェクター取り付け位置の目安として、①可能な限り直接製品面に取り付ける。外観を要求される A 級面の場合は鍵穴や方向指示器の穴、エンブレム取り付け位置を利用する②成形品表面に直接取り付けられない場合には、製品面の外側に仮製品部としてタブを設ける③可能な限り注入箇所は一ヶ所とする。

b. タブ形状

タブ形状については図-2 に示す。取り付け角度は成形品の水平面に対し 45° の角度が理想である。水平位置に取り付けるとプレスの成形圧力が高くなるので、IMC 剤が注入しづらくなる。HPIP では 90° の角度で取り付けると、IMC 剤の注入圧力で成形品を片側へ押し、注入側のシェアエッジの隙間が広がり、IMC 剤が漏れやすくなるので避ける。

c. シェアエッジ

シェアエッジのクリアランスが厚すぎると SMC のバリを圧縮して IMC 剤が漏れるため、基本的にはガラス繊維が入らな

い $50 \sim 100 \mu\text{m}$ とする。

d. 金型の抜き角度

HPIP は IMC 剤の圧力によって SMC 基材を圧縮しながら金型内を流動するので垂直部もコートできるが、その膜厚は抜き角度、SMC 基材の成形収縮率および成形品の肉厚に依存する。抜き角度は脱型のしやすさも考慮し、 3° 以上とするのが好ましい。

e. コーナーの角度

コーナー角度が鋭角の場合 IMC 剤の流動が妨げられる場合がある。コーナー部の $R=1.5$ 以上とする。

f. 金型温度の均一性

インジェクターは IMC 剤のゲル化を防止する目的で冷却しているため、インジェクター回りのキャビティ温度が低下する。場合によっては別に加温のためのスチームラインを設け、インジェクター付近のキャビティ温度を維持させる。

4.3 成形条件

図-3 に HPIP 法における成形条件を示す。この図は HPIP 法の標準的な成形スケジュールを示すもので、SMC 材料を P_1 の圧力で成形した後、キャビティ圧力を P_2 まで降下させ、SMC 材料が IMC 剤の注入圧力に耐えうる程度に硬化したタイミング T_{IMC} で IMC 剤を注入する。注入完了後再び成形圧力を P_3 まで上昇し所定時間保持して IMC 剤を硬化させた後、成形品を金型から取り出す。

HPIP 法において、IMC 剤の流動や塗膜外観に影響を及ぼす主な要因について述べる。

a. 注入タイミング (T_{IMC})

HPIP 法では SMC 基材の半硬化状態で IMC 剤を注入するため、早すぎると SMC 基材が IMC 剤の注入圧力に耐えるだけの強度に達していないため、IMC 剤が SMC 基材を貫通して裏面に回ったり、基材中にもぐり込む。逆に遅すぎると SMC 基材の硬化が進み、SMC 基材の圧縮性が低下するため、成形品の立ち面や末端部のコート性が悪くなる。

注入タイミングは SMC 成形時の金型内樹脂圧力または金型変位の測定から、SMC 基材の硬化特性を捉え決定することができる。好ましい注入タイミングは SMC 基材の硬化のピークを過ぎ、収縮に移行した時点以降とする。

b. 注入時のプレス圧力 (P_2)

成形品の形状や IMC 剤注入位置によって異なる。平面部の

図-2 インジェクターを取り付けるタブの形状・寸法

図-3 HPIP 法の標準成形条件

図-4 IMC 剤の流動過程のフローフロント

多い成形品はやや低く、垂直部の多い成形品は高めに設定する。 P_2 が高すぎると端末のフローマークが、低すぎるとIMC剤のショートショットやエア溜まりが発生しやすくなる。通常10~50 Kgf/cm²とする。

c. 注入後のプレス圧力 (P_3)

塗膜の面品質 (リブ・ボスのリードアウト) や基材との付着性に影響する。 P_3 が高すぎるとリブ・ボス部がハンプ (凸) となり、低すぎるとヒケ (凹) や付着力が低下する。

d. SMC のチャージパタン, チャージ位置

SMC 基材のチャージパタン, 位置によって密度の偏りが生じ, IMC の流動にも偏りを生じ, ショートショットやフローマークとなることがある。SMC のチャージパタン, 位置は成形品の強度とも関係し, 十分注意する必要がある。

好ましい成形条件での IMC 剤の流動パターンと, 好ましくない流動パターンについて, 金型内での流動過程のフローフロントを図-4³⁾に示す。

その他要因については図-5 の特性要因図を参照願いたい。

4.4 トラブルシューティング

代表的なものについて示す。

a. 空気の内包 (写真-1)⁴⁾

Fern (シダ模様) とも呼んでいる。IMC 剤へのエア内包で発生する。SMC 中のエアと IMC 剤中への硬化触媒混合時に巻き込んだものが考えられる。対策としては, 脱気しやすいよ

写真-1 IMC 剤へのエア混入による空気の内包

写真-2 IMC 剤の被覆不足 (ショートショット)

うに金型シェアエッジ部の調整, 触媒混合時適性なミキサーを使用する。

b. 被覆不足 (ショートショット) (写真-2)⁴⁾

原因としては SMC 材のチャージ量不足, IMC 剤の注入量不足, SMC 材のチャージパタン・チャージ位置不適, 成形圧力の不適, 成形プレスのレベリングコントロール不良等が考えられる。

c. 塗膜はく離 (写真-3)

図-5 IMC コート性の特性要因図

写真-3 SMC 基材からの塗膜はく離

写真-4 IMC 剤の SMC 基材中への侵入

原因としては非活性の硬化触媒の使用, 硬化触媒量不足, 成形圧力の十分かからない低圧部分あるいは圧力の不均一による低圧部の発生, 過度の外部離型剤の使用, 洗浄溶剤の混入等があげられる。

d. IMC 剤の SMC 基材中への侵入 (写真-4)⁴⁾

IMC 剤注入のタイミングが早く, SMC の硬化不十分により IMC 剤の注入圧に耐えられないために起こる。対策としては, IMC 剤注入のタイミングを遅らせることが効果的であるが, IMC 剤注入口周辺の金型温度が適性かチェックし低ければ昇温する。

e. リブ, ボスのリードアウト

リブ, ボス部は平面部より圧縮性があり, また肉厚が厚く SMC 材の硬化度合いに差が生じ, IMC 剤注入圧力で変形し IMC 剤膜厚が厚くなり, ハンプ (凸) となりやすい。リードアウトの対策としては, IMC 注入タイミング・注入後のプレス圧力 (P_3) を SMC 材の特性に合わせ調整する。

5. SMC 成形品の塗装工程と塗膜性能

5.1 塗装工程

SMC の一般成形品と IMC 成形品の塗装工程比較を図-6 に示した。SMC の一般成形品は塗膜のピンホールを防止するために塗装前処理としてパテ埋め, サーフエサーによる目止め処理を必要とする。IMC をほどこした成形品はこのような煩わしい処理をする必要が無く, いちじるしい工数の削減が可能となる。また IMC 剤の種類としては硬化塗膜として導電タイプ

図-6 SMC 成形品の塗装工程比較

図-7 各種成形法における塗装ピンホール発生頻度

および非導電タイプがあり, 導電タイプの IMC 剤では中塗り, 上塗り静電塗装が可能である。

5.2 塗膜性能

IMC とスプレープライマーとのおもな相違点は, ①ピンホール防止能力②平滑性③耐チップ性能の 3 点である。

スプレープライマーは SMC 表層の素穴を充填する効果がなく, 中塗りまたは上塗り塗料を高温で焼付ける際, 内部に溜まった溶剤やエアがプライマー層を突き破ってピンホールを発生させる。IMC では密閉された金型内で圧力をかけた状態で塗膜形成されるため, 素穴を充填しピンホールを防止する能力が

写真-5 素穴への IMC 剤充填状態

表-1 塗膜性能比較表

		IMC 成形品	スプレープライマー塗装品
外 観	光沢(60° 鏡面反射率)	90.8	90.5
	鮮映性(PGD-IVメーター)	0.9	0.9
初期性能	付着性(2mm 巾基盤目) 耐チップング性	100/100 10	100/100 5 A・8 B
耐水性 (40°C240 時間)	外観変化	変化無し	ガラス繊維の浮き
	ブリストア発生度 付着性(2mm 巾基盤目) 耐チップング性	10 100/100 10	10 99/100 5 A・6 B
耐湿性 50°C・98% RH 240 時間	外観変化	変化無し	ガラス繊維の浮き
	ブリストア発生度 付着性(2mm 巾基盤目) 耐チップング性	10 100/100 9 A	<8 F 95/100 5 A・6 B
促進耐候性 S-W-O-M 1000 時間	光沢保持率(%)	98	95
	色差(ΔE) 付着性(2mm 巾基盤目) 耐チップング性	0.3 100/100 10	0.3 100/100 6 A・6 B
冷熱サイクル (5 サイクル)	外観変化	変化無し	変化無し
	付着性(2mm 巾基盤目) 耐チップング性	100/100 9 A	95/100 5 A・7 B

(注)付 着 性：セロテープではく離後ます目の50%以上はく離しなかったものの残存目数
ブリストア発生度：ASTM-D 714(EVALUATING DEGREE OF BLISTERING OF PAINTS)により評価(ブリストアなし→10)

耐チップング性：SAE J 400(TEST FOR CHIP RESISTANCE OF SURFACE COATINGS)により評価(素地露出なし→10)

高い。IMC によるピンホール防止効果について図-7⁵⁾に示した。この報告によると圧縮成形のみで自動車ボデーオンライン塗装を行ったとき48個/台以上発生したが、高圧インモールドコート法を実施すると0.85個/台まで低減され、さらにIMC 剤をあらかじめ真空脱気することによりゼロにできる結果が得られている。写真-5はSMCの素穴にIMC 剤が充填された状態を示したものである。

表-1にIMCとスプレープライマーとの塗膜性能比較表を示す。

6. 新規技術

従来はIMC 塗膜の機能としてSMC 基材の素地調整の目的が大きかったが、IMC 塗膜に特殊な機能を付与しSMC 成形品の付加価値をあげている。

6.1 メッキ仕上げによるSMC 製車体外板の製造

従来技術ではSMC 成形品表面に直接メッキをほどこすことは不可能であり、またメッキ可能な塗料を塗布した後メッキをほどこす方法ではメッキ膜の輝度感を発現させるに必要な表面平滑性が得られなかったことから、より装飾性が必要とされる分野への適用は困難であった。

本技術はIMC 法の特長である硬化塗膜が金型表面を完全に転写する特性を利用し、メッキ可能な特殊IMC 剤との組み合わせによるもので、SMC 成形品表面に平滑で強固な塗膜を形成し、その後湿式メッキ処理することにより装飾性、付着性に

すぐれたSMC メッキ成形品を得ることができ。

6.2 トップコートIMC 剤によるSMC 成形品の製造

従来、SMC 成形材着色あるいはポストコートしていた分野に対し、耐候性にすぐれたバインダーシステムで、あるいは耐沸騰水性、耐汚染性にすぐれたバインダーシステムにより、トップコートとしての機能をIMC 剤に付与することによって、SMC 成形品の高付加価値化、生産の合理化を可能とする。

7. 使用実績

インモールドコートはアメリカやヨーロッパにおいて多くの実績がある。

日本国内では、マツダ(株)のファミリアカプリオレのトランクリッドにはじめて従来法のIMC が採用された。HPIP 法による採用例はトヨタ自動車(株)のセリカのロアバックパネルが最初である。近年では大型トラックのフロントパネル、フロントリッドへの採用が増えており、国内トラックメーカー4社に実用化されている。とくにいすゞ自動車(株)とはメッキ可能なIMC 技術の開発により、大型トラックで需要の多いメッキ仕上げが採用されている。

自動車以外ではトップコートIMC 仕上げによるパラボラアンテナ、ユニットバス内面への採用実績があるが今後の市場拡大に期待したい。

8. おわりに

SMC のインモールドコーティング技術は数多くの利点を有し、特に自動車分野では生産性、コスト面で従来のスプレープライマー方式にくらべ格段の優位性をもっている。また、インモールドコーティングプロセスは、いままで記述したように密閉された金型内で塗膜形成し、VOC を放出しないのでこれからの環境対策に対応した技術でもある。

インモールドコーティングプロセスの利点を生かした、熱可塑性プラスチック射出成形法への応用、RIM (反応射出成形法) 成形法への応用については、別の機会に紹介したい。

文 献

- 1) 特公昭 55-9291.
- 2) 特公平 4-33252.
- 3) 藤井聡, 米持建司: 成形加工シンポジア'94, P 28, (社)プラスチック成形加工学会 (1994).
- 4) 米持建司, 山本義明, 藤井聡: 強化プラスチック, 35 [5], 157 (1989).
- 5) 三島康博, 平岩久雄, 小林孝一, 塚谷政継: 強化プラスチック, 36 [3], 87 (1990).