特集／プラスチックのドライプレーティング

真空蒸着装置

Vacuum Deposition System

砂 賀 芳 雄 *

Yoshio Sunaga

真空蒸着法の概要を述べ、装置について解説する。また、利用面から適用できるプラスチックの種類、蒸発物質を述べ、実際の作業工程についても紹介する。

1. はじめに

部品の軽量化や、材料費・加工費を低減する目的でプラスチック製品の利用が増えている。外観美を向上させたり、導電性を得る為にその表面をメタライジングする事が多い。

メタライジング技術として湿式法に代わるドライプレーティングには次の利点がある。

- ① 多種のプラスチックへの適用が容易である。
- ② 無公害プロセスである。
- ③ カラーメタライジングが可能である。

本稿では、ドライプレーティングの中で、最も一般化している真空蒸着法について、その概要と装置について解説する。

2. 真空蒸着の原理と特徴

真空中で金属を加熱すると、金属が蒸発する。その蒸発分子を、蒸気温度より低温の基材に付着させると、表面で蒸気が凝縮し、薄膜を形成する。これを真空蒸着といい、概念図を図1に示す。また、真空蒸着法と他のドライプレーティング法と

の比較を表1に示す。

真空蒸着で得られる膜は極めて薄く、通常 $0.05 \sim 0.1 \mu m$ 程度である。表面の光沢は、基材の粗さや蒸着時の雰囲気依存する。その為、アンダーコート剤をあらかじめ塗布して表面を平滑にし、

図1 高真空中での蒸発

* 日本真空技術(株) 第1事業部主事補
〒104 東京都中央区京橋1-10-3
☎ 03-535-6381

*ULVAC Co., Ltd.
10-3, Kyobashi, 1-chome, Chuo-ku,
Tokyo 104

且つ基材からの放出ガスを抑制して蒸着時の圧力を低く保つ。カラーメタライジングを行なう事も容易である。

また蒸着膜は耐摩耗性に欠けるので、蒸着膜が常に外部から接触を受ける様な場合には、トップコート剤を塗布して保護膜とする。この保護膜は耐食性の改善の役割も同時に果たすことになる。

アンダーコート剤やトップコート剤を着色し、

3. 装 置

3-1 構 成

真空蒸着装置は、真空容器、真空排気ポンプ類、基材の支持・搬送の為の治具類、蒸発源及び付属

表1 ドライブレーティング法の比較

		真 空 蒸 着	スパッタリング	イオンプレーティング
蒸発金属	低融点金属 高融点金属 合金金属 金属の供給	容易 可（電源コストが高い） 難 毎回追加又は交換	可（ターゲットを充分水冷する） 容易 容易 長期間連続使用可	容易 可（電源コストが高い） 可 毎回追加又は交換
膜の性質	成膜速度 ピンホール 基材との密着性 マスキング性	優 少 可 優	劣（物質による差が大） 極少 良 難	良 少 優 難
経済性	真空度 操作性 生産性 装置価格	高真空（ 10^{-2} Pa以下） 良 優 安価～高価 （蒸発源の選択により差大）	中真空（20～2 Pa） 優 劣 やゝ高価	中真空（25～0.5 Pa） 可 良 やゝ高価

図2 蒸着装置の形式

※この場合、蒸着膜は約200 Å以下で半透明に蒸着される。

機器から構成される。これらの各機構は目的に応じて多種に及び、組合せによってバッチ式から大型連続式の装置まで、各種蒸着装置が生産されている。図2に組合せの例を示す。

(1) 真空容器

小型実験装置ではガラス製のものもあるが、生産規模の装置では、軟鋼やステンレス等金属製である。基材を出し入れする為の扉や真空排気口、各種測定子のポート等を有する。真空シール材には通常ゴムパッキングが用いられる。

(2) 真空排気ポンプ類

真空ポンプ、バルブ、配管、真空計等で構成される。主ポンプは油拡散ポンプを用いる例が多いが、最近ではより清浄な真空雰囲気を得る為、クライオポンプを用いる事も多い。

図3 クライオポンプと油拡散ポンプを用いた高真空排気系

クライオポンプとは、極低温（クライオ）面を有し、気体分子をその表面で凝縮、または吸着して除去し、高真空を得るポンプである。クライオ面を得るには、液体窒素（77k）や液体ヘリウム（4.2k）の様な寒剤を用いる方法と、閉サイクルのヘリウム冷凍機を用いる方法があるが、後者の方が日常作業が容易である。

クライオポンプには次の様な特徴がある。

- ① 拡散ポンプと異なり油を用いないので、ポンプ油の逆拡散による真空容器の油汚染がない。
- ② 残留ガスの多くを占める水分に対する排気速度が大きい。
- ③ クライオポンプでの排気時、補助ポンプは必要としないので、油回転ポンプなどを停止出来、省エネルギーである。

図3にクライオポンプを用いた排気系と油拡散ポンプを用いた排気系の比較を示す。

(3) 基材の支持・搬送機構

蒸着膜厚を均一にして、且つ一回毎の生産量を増大させる為に種々の治具が考案される。基材が成形品の場合には、取り付けした治具を蒸発源の上方で自転、公転させたりする。フィルムの場合には、巻取りながら蒸着する為、ローラー機構が設けられる。

(4) 蒸発源

蒸発物質容器、加熱源、蒸発速度検出器などの付属機器から構成される。図4①はタングステンなどの線に通電し、発熱させるフィラメント形式のものである。線状の蒸発物質を適当な長さに切断し、フィラメントに巻きつけておく方式で、アルミニウムの蒸発などに用いられる。なお、粉状の蒸発物質を水などで固めて乾燥し、渦状のフィラメントの中に挿入して蒸発する事も出来る。

図4②はタングステンなどのポートに通電するもので、蒸発物質はくぼみに置く。線状や粒・粉状の蒸発物質を次々に供給する連続供給機構を加え、長時間の蒸発を可能にする事もできる。多孔容器型のポートは、低融点で比較的蒸気圧の高い物質（亜鉛、セレン等）に用いられ、スプラッシュの防止に効果的である。

図4③は加熱源に電子線衝撃を用いるもので、高融点金属（ニッケル、クロム、モリブデン等）

や酸化物（酸化インジウム、酸化シリコン等）の蒸発に適する。蒸発容器は銅製で水冷されている。蒸発物質の表面を直接電子で加熱する為、不純物の少ない良質の蒸着膜が得られる。

図4④は蒸発物質容器であるルツボを高周波誘導加熱するものである。蒸発物質を直接誘導加熱する事もできるが、蒸発により蒸発物質が減少してインピーダンスが変化し、マッチング調整が必要になるので複雑である。フィルムへの連続蒸着など、大量蒸発を必要とする装置に用いられる。

この他最近ではイオンビームやレーザーの衝撃

加熱なども特殊な用途に使われだされている。

3-2 パッチ式蒸着装置

成形された基材を対象とする。基材は治具に固定され、治具を回転させたりしながら蒸着する。写真1は横型装置である。基材の取付が容易な様に治具は台車上に移送でき、真空容器から取り出せる。写真2は縦型で、2室1電源方式の装置である。これは、蒸発源用電源を2室で交互に用い一方の蒸着時他方は真空排気という様に作業の効率化と装置のコストダウンを目的としている。

3-3 巻取式蒸着装置

パッチ式の一つであるが、フィルム状基材を対象とし写真3の様なローラー機構を有する。蒸発

図4 蒸発源のいろいろ

写真1 パッチ式蒸着装置

写真2 双頭型蒸着装置

源としては大量蒸発の可能なルツボ誘導加熱や電子線加熱が用いられる。各種自動機構が採用され操作は容易になっている。

3-4 インライン式蒸着装置

生産性を高める為に、真空容器を3室以上連続的に接続し、基材を次々に送って蒸着する。基材の挿入、取出の室は大気／真空の繰り返しになるが、蒸着室は常に真空中に保持されるので、品質が安定する。必要に応じて基材の脱ガス等を目的とした室が加えられる。写真4は、成形された基材を対象とした装置で、トレイに数個の基材を乗せ、トレイ毎移送する。

4. 蒸着作業

基材が成形品の場合と、フィルムの場合の代表的な加工工程を図9、10に示す。いずれの場合にも、基材には塵や水分が吸着せぬ様、充分な注意が必要である。

- ① 原料及び成型時に発生した表面のクモリ、着色、異常な凹凸など、形状検査を行なう。
- ② 中性洗剤で離型剤・油脂類・ゴミ等を完全に除去し、水洗・乾燥する。
- ① 樹脂に適合した塗料を下塗り致します。蒸着する必要のない部分に剝離剤・金属マスク等を取り付けます。金・銀・赤・青・緑その他の色調のある顔料・染料を使用して種々の色調をもった光沢のある表面とすることができます。
- ② 乾燥する。
- ① 基材を治具に取付け、真空容器に挿入する。
- ② 真空排気し、所定の圧力になったら蒸着！
- ① 裏面蒸着品の場合、不要部分に付着した蒸着薄膜を機械的或いは化学的に取り除き、蒸着面保護用の塗装（裏止め塗装）を行ない乾燥する。
- ② 表面蒸着品の場合、被蒸着物は蒸着面保護用のトップコーティングを施す。この時着色し、種々の色調を出す事ができる。

写真3 巻取りローラー機構

写真4 インライン式蒸着装置

図5 成型品の蒸着工程

図6 フィルムの蒸着工程

表2 蒸着に用いられるプラスチック

	基 材 形 状	特 徴
A B S	成 形 品	湿式めっきを含め，プラスチック成形品の95%を占める最も一般的な基材。 耐熱性の低い事，材料費の高い事が欠点。
ア ク リ ル	成 形 品	含水率が高く，蒸着するには適当なアンダーコート剤と，特殊な蒸着技法を用いる。 透明度が高いので，ハーフミラーなどに用いられる。
塩 化 ビ ニ ル	成 形 品 シ ー ト	安価な材料だが，蒸着用には無可塑質でなければならない。シート状の基材は蒸着後プレス成形される。密着性を改善する為に前処理した方が良い。
ポリスチレン	シ ー ト	蒸着後プレスして，使い捨ての食器（皿，弁当箱）として用いられる。
ポリプロピレン	成 形 品 フ ィ ル ム	近年，成形品にも使われだした。 蒸着用にはコロナ放電などの前処理を施し，密着性を改善する必要がある。 耐熱性が優れ，安価な事から，ポリエステルやセロファンに代わりつつある。
ポリカーボネート	成 形 品 フ ィ ル ム	優れた機械的・電氣的性質をもち魅力ある基材だが，高価なのが欠点。 密着性を改善する為に前処理を施した方が良い。
ナ イ ロ ン	成 形 品 フ ィ ル ム	含水率が高く，蒸着には適さない。
ポリエステル	成 形 品 フ ィ ル ム	成形品として用いられる事は少ない。フィルムでは最も一般的の基材であり，蒸着グレードとして種類も豊富にある。
紙，セロファン	フ ィ ル ム	含水率が高く，あらかじめ乾燥処理などを必要とする。但し，最近は真空排気系が改善され，かなり問題はなくなった。 包装材料として，折目がつけられるなどの利点が尊重されている。

5. 基材と蒸着金属，蒸発源

5-1 基 材

基材には一般的に、次の様な特性が要求される。

- ① 水分や可塑剤など、真空中でガス放出源となる物質の少ない事。
- ② 蒸着金属との接着力の良い事。
- ③ 耐熱性が比較的優れている事。

これらの条件を満たすものとして、現在、成形品ではABS樹脂、フィルムではポリエステルが最も多く用いられている。

しかし最近では、物理的・化学的各種前処理技術やアンダーコート剤の開発により、多くの材料が試みられている。代表的な材料とその特徴を表2に示す。

5-2 蒸発金属

蒸発金属は必要に応じて各種用いられるが、最も多いのはアルミニウムである。これは、白銀色の金属色を得る事、任意形状の材料の入手、価格、蒸着技術のいずれも容易な事による。その他の金属例を表3に示す。

真空蒸着では、合金は余り用いられない。これは異種金属の組成比を一定に保つのが、その蒸気圧の差異などで難しい事による。但し、酸素ガスを流しながらインジウムを蒸発させて、酸化インジウム薄膜を作成したり、炭化水素系のガス雰囲気中でチタニウムを蒸発させて炭化チタン膜を作成する反応性蒸着も行われている。

表3 蒸着に用いられる金属

	特 徴
Al	最も一般的に用いられる。純度は一般に99.9%～99.99%程度で、線状・ブロック状など多種形状で市販されている。
Ag	落ちついた色調を求めて、高級品に用いられる。 蒸着時、不純ガスなどが混入すると、後で膜が黄変するので充分な注意が必要である。
Au	高価な為、基材以外に飛散したAuの回収がコスト上大きな問題になる。防着板など付属機構を考慮する。
Cr	耐候性、耐食性を求められる場合に用いられる。 蒸発は昇華で行なわれる。高温加熱を必要とするので電子線加熱などが用いられる。
Cu	平板上の基材に蒸着し、銅板の色調を出すなど、装飾用に用いられたり、Zn蒸着時の核付蒸着に用いられたりする。 安定に長時間蒸発させるのは、比較的難しい。
In	酸素雰囲気中で蒸発させ、蒸気分子とガス分子を反応させて、化合膜(In ₂ O ₃)を得る。 In ₂ O ₃ 膜は透明電導膜として需要が見込まれる。その他Siも同様に用いられている。
Ni	Coとの合金膜を作り、磁性薄膜として最近注目を集めている。
Zn	MPコンデンサ用として、紙やフィルムに蒸着される。

6. おわりに

今迄の真空蒸着技術は経験的な要素が多く、作業者の熟練に頼り勝ちであった。しかし最近では各種測定子の開発による計測技術、コンピュータ等電子機器、制御技術の進歩から、自動化への歩みが著しい。また新しい蒸発加熱源としてレー

ザーが用いられるなど、益々多様な蒸発物の利用が進むであろう。

一方、トップコート樹脂ではなく、 SiO_2 などのガラスを蒸着する事で代えようとする試みも成功している。ハード、ソフトの両面から、真空蒸着の可能性が求められている。生産設備として、より信頼性の高い、より生産性の優れた装置の開発が益々進むであろう。

次 号 予 告

<今月のことば> 河 野 昌・日本真空技術(株)

<解 説>

塩浴室化処理鋼の疲労強度	浅 見 克 敏	・武蔵工業大学
溶射による表面硬化について	光 田 章 一	・光興業(株)
新タフドライド法の最近の発展について	塩 谷 恩	・パーカー熱処理工業(株)
乾式潤滑剤による新しい搬送装置の保全法	藤 井 秀 和	・日本ドライスライド(株)

<技 術 論 文>

浸硫および浸硫酸化処理した鋼のすべり摩擦・摩耗特性

阿 部 敏 夫 ・ 竹 内 栄 一 東京熱処理工業(株)

<現 場 の 知 恵>

Al-Cu系合金に陽極酸化処理するためのポイント..... 大久保 敬吾・長野県精密工業試験場

OKUNO

オクノはこれからの時代が必要とするものをつくっています。

表面処理剤の総合メーカー

- ☐ メッキ用光沢剤
- ☐ 脱脂・脱錆・前処理剤及び後処理剤
- ☐ プラスチックメッキ用処理薬品
- ☐ アルミニウム用処理薬品
- ☐ 各種研磨剤
- ☒ 廃水処理剤
- ☒ 公害防止用機器

*このほかガラスカラー・写真用薬品・食品添加物などもつくっています。

TOP 奥野製薬工業株式会社

本 社 大阪市東区道修町3-23 TEL (203) 0721 (代表) 支 店 東京都足立区新田3-8-17 TEL (912) 9241 (代表)
営業所 大阪 TEL (961) 7781・名古屋 TEL (871) 1601 出張所 高崎・城南・横浜・浜松・広島・福岡・工場・技術部一大阪

OKUNO CHEMICAL INDUSTRY CO., LTD.