

解説

J. Jpn. Soc. Colour Mater., 93 [1], 23-27 (2020)

液体薄膜コーティングと乾燥：欠陥形成に与えるレオロジー特性の影響

山村方人^{*,†}

^{*}九州工業大学大学院工学研究院物質工学研究系 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 (〒804-8550)

[†] Corresponding Author, E-mail: yamamura@che.kyutech.ac.jp

(2019年11月18日受付, 2019年12月5日受理)

要 旨

液体フィルムの塗布乾燥は、さまざまな先端材料プロセスに対する共通基盤技術の一つである。粒子分散液、コロイド、ゲルなどのソフトマターから均一なフィルムを得るには、望ましくない塗布乾燥欠陥の形成メカニズムと、塗布液のレオロジー特性との間の相関関係を理解することが大切である。そこで本稿では、産業で用いられる代表的な方式の一つであるスロットダイ塗布を取り上げ、欠陥形成を抑制しプロセスの生産性を向上させるために必要な液物性の考え方について紹介する。

キーワード：スロットダイ塗布, 乾燥, レオロジー, 欠陥

1. はじめに

一定速度で運動する大面積基材へ液体フィルムを連続塗布するプロセスでは、流体中にせん断（ずり）が作用する。塗布装置内のせん断速度は一般に均一ではない。せん断速度の空間分布がある塗布装置へ高濃度粒子分散液を供給すると、粒子-粒子間の相互作用によって、せん断速度の高い領域から低い領域へ向かう粒子の拡散運動（せん断誘起拡散）が生じる。また、せん断速度の増加にともなってせん断粘度が低下するshear-thinning流体では、せん断速度分布に対応する粘度分布が塗布装置内に形成され得る。これらの現象を理解することは、塗布プロセスを最適化するためのみならず、各プロセスに適した分散液を調製する観点からも重要である。本稿では、リチウムイオン電池電極、積層セラミックコンデンサ、磁気テープの製造プロセス等で用いられる代表的な塗布方式の一つであるスロットダイ塗布を取り上げ、その特徴を紹介するとともに、塗布・乾燥欠陥の形成条件と塗布液のレオロジー特性の関連をまとめる。

2. 塗布流れと塗布欠陥

2.1 スロットダイ塗布

スロットダイ塗布では、ダイと呼ばれる塗布器へ中央または端部から塗布液を供給し、その全量を基材上へ塗布する



【氏名】 やまむら まさと
 【現職】 九州工業大学大学院工学研究院物質工学研究系 教授
 【経歴】 1993年京都大学工学部化学工学科卒業。1996年京都大学大学院工学研究科化学工学専攻博士後期課程研究指導認定退学。同年九州工業大学工学部助手。1999年ミネソタ大学訪問研究員。2013年より現職。

【図表について】 電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai/-char/ja/

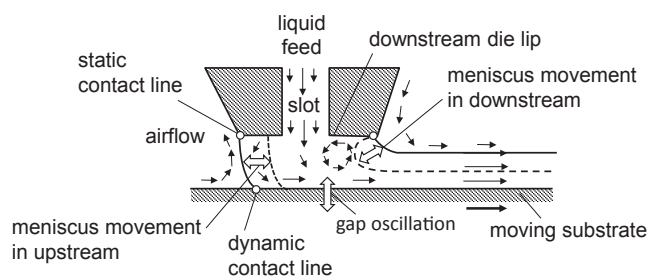


図-1 スロットダイ塗布流れの概略

(図-1)。この方式におけるウェット膜厚は、単位幅当たりの供給流量を基材速度で除したものに等しい。定常状態で塗布操作が行われている限り、ウェット膜厚が液物性に依存しないことから、スロットダイ塗布は精密塗布に適した方法の一つである。

ダイ入口から供給された液体は、スリット状流路（スロットと呼ばれる）を通過して、ダイリップ表面と基材表面との間にある液溜まりへ入る。一般に、この液溜まりをビード（bead）と呼び、基材面に対して直交する方向におけるビードの高さをコーティングギャップあるいは単にギャップと呼ぶ。基材を支持するために設けられたバックアップロールがわずかに偏心していると、ロールの回転と同周期でギャップが変動する。このギャップの時間変動によってビードが拡大と縮小を周期的に繰り返すと、横段状の膜厚ムラがあらわれることがある。また基材速度を固定したまま供給液流量を減少させると、気液界面（メニスカスと呼ばれる）の位置は上流側（図-1の左側）、下流側（図-1の右側）ともにスロットに向かって侵入し、ビード内に保持される液体の体積は減少する。その結果、ビードは力学的に不安定となり、基材方向に伸びる縦スジ状の膜厚不均一や、液中への気泡混入などの塗布欠陥がしばしばあらわれる。

以下ではまず、ビード内の流れの理論的取り扱いについて説明する。