高速広幅コータのコータヘッド

—給液システムの種類と特徴，ブレード計量の原理と機能—

石川島播磨重工業株式会社紙機械設計部 森田 博文

近年ブレードコータは高速，広幅化が進みコータヘッドには数々の改良が加えられてきた。ブレードコータは塗料を塗工する給液システムと塗料をかき落とすブレード計量システムに分けられ，それぞれが塗工品質に大きな影響を与える。給液システムは，塗料を流れ方向，幅方向に均一に塗工することが重要であり，高速塗工用としてはジェットファウンテン方式が多く採用されている。ブレード計量システムは，ブレードの押圧を広範囲に精度良く調整でき，さらに紙に対する接触角度を一定に保つことが重要である。また，幅方向の塗工プロファイルも安定させることも重要である。

本報文では，

- (1) ジェットファウンテン方式，チャンバー方式，ロール方式の各給液システムを紹介し，その特徴についてまとめた。
- (2) 塗工中にブレードに作用する力を理論的に解析し，高速塗工時にブレード計量システムに求められる機能について多方面から考察した。

(本文 24 ページ)

コーティングカラーの乾燥に対するガス赤外線ドライヤーの用途

株式会社マツボー製紙機械課 大塚 進司

コーターマシン運転速度の高速化に伴い，ガス赤外線ドライヤーの必要性が認識され，また実際に近年の高速コーターには，ほとんど全てガス赤外線ドライヤーが使用されている。従来のエアードライヤー及びシリンダードライヤーのみでは，コーターの高速化に伴い，全体長も必然的に長くなってくる。ガス赤外線ドライヤーは，エアードライヤー，シリンダードライヤーに比べ高いエネルギー密度を持つため，全長を押さえることができる。塗料の乾燥を全てガス赤外線ドライヤーで行っている例もある。

また，バインダーマイグレーションによって生じるモットリングを防ぐ効果もある。バインダーマイグレーションは，塗料が原紙に塗布された瞬間から始まる。これは，塗料濃度がゲルポイント（約76%固形分濃度）に達するまで続く。高いエネルギー密度を持つガス赤外線ドライヤーをコーターヘッド直後に使用し，出来るだけ早くゲルポイントに達することにより，モットリングの問題を防ぐことができる。

また，高速メータリングサイズプレス後でのガス赤外線ドライヤーとエアーターンの組合せによって，シリンダードライヤー上への塗料の付着を防ぐ方法がポピュラーになってきている。やはり，ガス赤外線ドライヤーが高い乾燥能力を持つが故に，有効な手段といえる。

今後，高速コーター，高速メータリングサイズプレス後のガス赤外線ドライヤーの使用が増えていくと思われる。

(本文 31 ページ)

高速、広幅コータのコータヘッド —給液システムの種類と特徴、ブレード計量の原理と機能—

石川島播磨重工業株式会社紙機械設計部 森 田 博 文

Coater Head for High Speed & Wide Width Coating Machine —Color Application System & Blade Metering System—

Hirofumi Morita

Paper Machinery Engineering Dept. Ishikawajima-Harima
Heavy Industries Co., Ltd.

1. 給液システム

高速塗工における給液システムの良否は、塗工品質に大きな影響を与える。

高品質を得るために要求される機能は、

- (1) 流れ方向 (MD), 幅方向 (CD) に均一な厚みで塗工すること。
- (2) 流れ方向 (MD), 幅方向 (CD) に均一な圧力 (浸透) で塗工すること。

である。また均一厚みが得られれば給液量の減少にも効果がある。

現在の給液システムのタイプは、

- (1) ジェットファウンテン方式
- (2) チャンバー方式
- (3) ロール方式

の3方式がある。それぞれの方式に特徴はあるが、1,000 m/min を越える高速塗工では、チャンバー方式とロール方式では問題があり、ジェットファウンテン方式が多く採用されている。

1.1 ジェットファウンテン方式 (図1)

1~2 mm 程度のスリット式のノズルから塗液を吹き出し紙に衝突させて塗工するものである。

吹き出された塗液はすべて紙に塗布され、落下したり渦を巻いたりせずに塗液が安定した状態 (層流) で紙に塗工されるので、2,000 m/min の高速でさえ均一な塗工面が得られる。均一な吹き出しを得るために形

状、構造に工夫がこらされている。

塗工速度に対応して塗液の供給量を変化させることが均一な塗布を得ることに有効であるが、必ずしも塗工速度を変化させたとき塗液供給量を変化させる必要はない。塗液を紙に衝突させる角度 θ は塗液粘度、塗

図1 ジェットファウンテン方式

工速度に対し理想の値があるが、実際はかなり幅広く対応でき、一般的な操業ではいったん最適値に設定すれば再調整の必要はない。

紙との距離 L は接触しない程度に短いほうが良いが、実際は 10 mm 以下では大きな違いがなく、紙切れ時等のメンテナンス性を考慮して、5~10 mm で使用することが多い。

弊社のバリドウェルコータは構造がシンプルそしてコンパクトで、かつブレード部と独立しているためジェットファウンテンを容易に移動することができ、バックアップロールの回りに移動させ、ドウェルを可変することにより塗液の浸透時間を調整できる。

バリドウェルコータはドウェルを調整することにより、軽塗工から重塗工まで安定した塗工が可能である。

ジェットファウンテンの両端部のスリットに移動できるような構造のデッケルを挿入して塗工幅を調整でき、ドライエッジも作ることができる。

1.2 チャンバー方式 (図2)

ショートドウェル方式と呼ばれているものが代表的なものである。

ブレードとそれに対向するせき板の間に塗液を供給して塗工するものである。

ブレードと一体となっているために、ブレード押付力、角度を変化させたとき、せき板と紙との隙間 L を一定にさせるためにせき板をブレードの動きに協調させて上下に移動させる機構が付いている。

図2 チャンバー方式

チャンバーに供給された塗料の一部が紙に付着するが、大部分はせき板と紙との隙間から流出する。この塗液流出によりチャンバー内の空気の侵入を防止している。チャンバーの幅 W は 15~25 mm 程度であり、この幅はチャンバー内での塗液の流れの安定性に影響を与える。

高速塗工では紙にひきずられる塗料とブレードでかき落とされる塗料が供給される塗料と複雑にぶつかり合い、乱流 (渦) を発生しチャンバー内部の圧力が不安定になり塗布むらが発生する。流れを均一にするために整流板等を設けることもある。ブレードの直前で塗料を塗工するのでドウェルは非常に短く、塗液の浸透時間は短い。

1.3 ロール方式 (図3)

歴史のある給液システムであり約 10 年前までは多く採用されていた。

カラーパンの内部にアプリケーションロールを入れ、このロールを回転させカラーパンに供給された塗液をかき上げ紙に塗工する。

紙とロールとの隙間 L は 0.3~0.7 mm 程度であり、この隙間が不均一であると塗布厚が不均一となり塗工品質を悪くする。高速塗工では紙とアプリケーションロールが接近する部分で塗液の流れが乱流となり液圧が不安定となるため浸透むらによる塗布むらが発生する。また、紙とアプリケーションロールが接近後離れる時、塗液の粘性による塗布パターン (リング状のスプリット

図3 ロール方式

パターン) を発生する。したがって 1,000 m/min 前後以下で使用されることが多い。

構造上ドウェルが長くなり塗液の浸透時間は長くなる。

2. ブレード計量システム

ブレード計量システムに要求される機能は、

- ①ブレードの押付力を広範囲に高精度に調整できること。
- ②ブレードと紙との接触角度を高精度に調整できること。
 - ・押付力が変化しても角度が一定である。
 - ・ブレードが磨耗しても角度が一定である。
- ③ブレードの幅方向の押付力を一定にできること。(調整しやすいこと)

であること。

2.1 ブレードの受ける力と塗工厚み

塗布中にブレードが受ける力は主に 2 種類ある。1 つはブレード先端部とウェブ間でつくられるくさび状の空間を塗液が通過するときに発生する力 (F_1) であり、もう一つは給液システム部で塗布されたカラーがブレードに高速で衝突することにより発生する力 (F_2) である。

塗布中のブレード部の塗料の流れは、図 4 に示ようになっており F_1 および F_2 は図に示す方向に作用している。

F_1 の直角方向にもブレード先端に力が作用するが F_1 , F_2 に比べ相対的に小さいので、ここでは考えないものとする。

2.1.1 F_1 について

F_1 はバックングロール周面を平面で近似し、ブレード刃面とバックングロール面とが微小角 β で対向

図 4 塗布中にブレードの受ける力

し、一方の平面が速度 U で粘性係数 μ の流体を介してすべる場合と考え (図 5)、運動方程式を立てて解くと、

$$F_1 = \frac{6\mu U l^2}{(k-1)^2 h_0^2} \left(\ln k - 2 \times \frac{k-1}{k+1} \right) \quad \dots\dots(1)$$

μ : 塗液粘性係数

U : 塗工速度

l : ブレー刃面長

h_0, h_1 : ブレードとバックングロールとのスキマ

k : h_1/h_0 (≥ 1)

また、塗液の通過流量 (ウェット塗工量) Q_1 は

$$Q_1 = \frac{k}{k+1} h_0 U \quad \dots\dots(2)$$

となる。

F_1 は k の値により図 6 のように変化し、約 2.2 で最大値をとり、

$$F_1 = \frac{0.16\mu U l^2}{h_0^2} \quad \dots\dots(3)$$

$$Q_1 = 0.688 h_0 U \quad \dots\dots(4)$$

(3), (4) 式より

$$Q_1 = 0.275 l U \sqrt{\frac{\mu U}{F_1}} \quad \dots\dots(5)$$

図 5 ブレードのくさび部の流体圧

図 6 $F_1 K$ 値の変化

(5)式より、塗工厚（ウェット厚） T_1 は、

$$T_1 = 0.275 L \sqrt{\frac{\mu U}{F_1}} \quad \text{.....(6)}$$

となり、

塗布厚 T_1 は、

- (1) ブレード刃面長に比例
- (2) 塗液粘度の 1/2 乗に比例
- (3) 塗工速度の 1/2 乗に比例
- (4) ブレード押付力の 1/2 乗に反比例

する

2.1.2 F_2 について

F_2 は塗液がブレードに角度 α で衝突するとき、

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{\rho Q_2 U (1 + \cos \alpha)}{\sin \alpha} \\ &= \frac{\rho U^2 T_2 (1 + \cos \alpha)}{\sin \alpha} \end{aligned} \quad \text{.....(7)}$$

ρ : 塗液密度

Q_2 : ブレードに衝突する塗液流量

U : 塗工速度

α : ブレードの角度

T_2 : 給液システムによる塗布厚み

塗布中はブレードに作用する力 F_1 および F_2 とブレードの押付力 F とがバランスしている。すなわち

$$F_1 \cos \alpha + F_2 = F \quad \text{.....(8)}$$

である。ここで、

$$F_1 \cos \alpha = \frac{0.16 \mu U l^2}{h_0^2} \cos \alpha \quad \text{.....(9)}$$

ここで、

$$l = \frac{t}{\sin \alpha} \quad \text{.....(10)}$$

$$F_1 \cos \alpha = \frac{0.16 \mu U t^2}{h_0^2 \sin^2 \alpha} \cos \alpha \quad \text{.....(11)}$$

であるから、

$$F_2 = \frac{\rho U^2 T_2 (1 + \cos \alpha)}{\sin \alpha} \quad \text{.....(12)}$$

また、

$$F = K t^3 \delta \quad \text{.....(13)}$$

これらの式を基にして、塗工量に外乱を与える F_2 の影響について考察する。塗工量は h_0 に比例するので h_0 を塗工量と考えてよい、したがって F_1 と F_2 との間には次の関係があることが分かる。

- (1) 塗料粘度 μ を大きくすることにより F_2 の力の割合を減らすことができる (図 7 a)。
- (2) ブレード厚 t を大きくすることにより F_2 の力の割合を減らすことができる (図 7 b)。
- (3) スピード U を大きくすると F_2 の力の割合が大きくなる。スピードが大きくなるカラー粘度 μ も小さくなるのでこの傾向は強くなる (図 7 c)。
- (4) 塗工量が大きくなると F_2 の力の割合が大きくなる (図 7 d)。
- (5) ブレード角度 α を小さくすることにより F_2 の力の割合を減らすことができる (図 7 e)。
- (6) アプリケーションでの塗布厚 T_2 が大きくなると F_2 の力の割合が大きくなる (図 7 f)。

給液部での塗布厚は幅方向で完全に均一することは難しい。ジェットファウンテン方式ではファウンテン内部を特殊な形状にしたり、ファウンテン出口リップにプロファイル機構を設けることにより塗液の吹き出し量の精度を $\pm 5\%$ 程度にすることが可能である。

ロールアプリケーション方式では、ロール間のスキマ精度の影響よりも、ウェブとアプリケーターロールとがひき離されるときに塗液の粘性力により生ずるスプリットにより、幅方向に細いピッチで塗布厚が大きく異なる。また、前述のようにロールニップ部付近にて塗液の圧力むらによる浸透むらが発生する。

これらの塗布厚不均一がブレードに対する作用力 F_2 を変化させ塗布むらを発生させる。

チャンバーアプリケーション方式では、アプリケーター部での塗布厚むらよりも、チャンバー内部での液の流動が不安定となりブレードの受ける力 F_2 が幅方向および時の経過と共に乱れる。このため塗工条件によっては塗布むらが発生し問題となる。

2.2 ブレード押付力

一般的には、ブレードは図 8 に示す形でクランプされている。

ブレードの撓み δ とブレードの押付力 F との関係は、

$$F = K t^3 \delta \quad \text{.....(14)}$$

図 7 塗工条件による F_1 , F_2 の変化

$$K = \frac{E}{4 L_1^3 + 3 L_1^2 L_2} \quad \dots\dots(15)$$

t : ブレード厚み

E : 縦弾性係数

ブレードの剛性は Kt^3 で決定され、

- (1) t の 3 乗に比例する
- (2) L_1 , L_2 に反比例する

L_1 , L_2 , t をパラメータとして F と δ との関係を図 9 に示す。

2.3 塗工量調整

(6)式に示すようにブレード押付力 F_1 を調整して、塗工厚を変化させる。

F_1 を変化させるには(14)式に示すように δ を変化させる。

δ を変化させるときにブレードと紙との接触角度を一定とさせなければならないので、実際は図 10 に示すようにブレードを回転させ δ を変化させている。ブレード接触角度が変化しないような回転中心は、理論

図8 ブレードのクランプ

的に L_1 , L_2 より決定できるが、実用上はブレード幅が一定でないので補正する必要がある。

弊社の塗布量調整装置 (TOFCON IV) は、ブレード幅を入力するだけで任意の幅のブレードを使うことができるので、広範囲な塗工量調整が容易に出来る。

2.4 ブレード押付力と塗工量の関係

(6), (14)式より,

$$T_1 = 0.275 \frac{1}{\sqrt{K}} \frac{1}{\sin \alpha} \frac{1}{\sqrt{t}} \sqrt{\frac{\mu U}{\delta}} \quad \dots\dots(16)$$

この結果より、厚塗工では

- (1) ブレード角度 α は小さくする。
- (2) L_1 , L_2 を大きくし、 K を小さくする。(過度に小さくすると振動の問題が発生する。)

ブレードの厚み t は薄いほうが塗工量は増えるが、薄いと塗工量のプロファイルが悪くなるので、薄くせずかえて厚くすることが多い。

薄塗工では基本的にはこの逆となる。

2.5 ブレード磨耗時の塗工量調整 (図11)

長時間運転するとブレードが磨耗するためにブレードを移動させる必要がある。

2.3 で述べた機構を使うとブレード接触角が大きくなってしまいう問題がある。ブレード接触角を変化させずにブレードを移動させることは、ブレードを平行に移動させることで達成される。

これはブレードを大きな半径のアームで位置制御することにより行われている。

図9 ブレード押付力と撓み

弊社の塗布量調整装置 (TOFCON IV) は高精度の電気-油圧式ステッピングシリンダにより大径のアームを位置制御し、ブレード磨耗時のブレード接触角を一定にしている。

2.6 ブレードプロファイラー

幅方向の塗布量調整のためにブレードの押付力を幅方向で調整できる構造となっている。これは、バックアッププレート部分の位置を幅方向に 50~100 mm のピッチで調整することにより行う。

バックアッププレートの動き量 ΔS とブレード押付力の変化との関係は L_1 , L_2 の値により異なる。

次の点より、 L_2 は 40 mm 前後が理想的である。

図 10 塗工量調整

図 11 ブレード磨耗時の塗工量調整

- ΔS に対して、ブレードの押付力の変化が小さい。
- ΔS に対して、ブレードの接触角度の変化が小さい。

また、40 mm 前後は、ブレードの剛性、メンテナンス性からも理想的である。

2.7 ベント塗工 (図 12)

ベント塗工は厚塗工として最近多く使われる塗工方式である。

ベベル塗工は厚塗工時ブレードの押付力が小さくなるため塗工量の調整が難しい。特に幅方向のプロファイルが乱れやすい。

図 12 ベント塗工

一方、ベント塗工はブレードの押付力を大きくすると塗工量が増えるので大きくブレードを押し込むことができ、塗工量の調整がしやすく、プロファイルも乱れにくい。

ただし、1,000 m/min を越える高速塗工では、ブレードくさび部で塗液の流れが乱れ塗工むらが発生しやすい。従って、高速塗工ではブレード形状、塗液の液性に工夫が必要である。

弊社のバリドウェルコート (TOFCON IV付) はブレードを交換するだけでベベル塗工とベント塗工の切換を容易にできる。

ブレード押付力と塗工量との関係

ブレードの紙に対する接触角が小さいとき、ブレードを強く押し込むとブレードの撓みが大きくなりブレードの紙に対する接触長さが大きくなる。

ベベル塗工の塗工量の(6)式において、ブレードの

$$T_1 = 0.275 L \sqrt{\frac{\mu U}{F_1}} \quad \dots\dots(6)$$

押付力 F_1 の増加より、ブレードの腹が紙に接する長さ l の増加が大きくなると F_1 が増加しても l がさらに増加するので塗工量 T_1 が増加する。この状態がベント塗工の領域である。

ブレードの厚みおよび長さ、ブレードの接触角度によってベント領域は異なる。塗工速度、塗工量に適した条件を設定することが必要である。