ダブル塗工中質紙の塗工プロセスの最適化

住友重機械バルメット㈱技術部 森 隆 資

Optimizing the coating process for double-coated, wood-containing papers

Takashi Mori

Sumitomo Jukikai Valmet Ltd.

Brightness, opacity, surface strength, ink density, and cracking tendency were not affected by the layout strategy for drying the precoat. Dryer capacity and economic aspects should be considered more than questions about quality in optimizing the precoating installation.

1. はじめに

過去数年間、製紙業界の中質コート紙、特に軽量コート紙 (LWC) の全生産能力は大幅に増加した。同時に競争上の圧力によってメーカーはあらゆる中質系コート紙に関し、一段と高い効率と高い品質を得るべく努力を強いられるようになってきた。そのような中で、より費用のかかる上質コート紙に匹敵する印刷品質を得る可能性のあることから、中量コート紙 (MWC) に対する関心がたかまっている。

MWC 紙はヒート・セット・オフセット輪転機に最適であり、オフセット印刷にも適していると考えられる。MWC 紙を使用した代表的な印刷物には販売促進資料、高品質の宣伝および専門雑誌等が挙げられる。

2 層コートは当初、高品質の板紙及び上質系コート紙の生産用に使われていた。ごく最近では中質紙の印刷品質を高めるために使用されている。

1 層コート紙では塗布層は直接、粗い紙表面に塗工される。2 層コート紙ではプレコートには通常低コストの顔料を使用して紙の表面を被覆し、高品質のトップコート用として均一な下地を構成する。これによって一段と表面品質に優れインキ吸収度が均一なコート層を得ることができる。

このテストではパイロットコータを用いて 2 層コートの基本パラメータの最適化とこのプロセスで得られる品質の把握を行った。

2. テスト条件と手順

1) 原 紙

テストでは 44 g/m^2 と 40 g/m^2 の 2 種類の原紙が用いられた。両方とも灰分含有率は 6~8%, クラフトパルプを 40~50%, 残りは碎木パルプとした。原紙の平滑度は $300 \sim 400 \text{ ml/min}$ (Bendtsen) で、水分は約 3% であった。

2) パイロットコータ

テストは幅 1 m のテストコータで実施された。ブレード塗工部は 2 方式が使用できる。すなわち 1 つはショートドウェル式、他はアプリータロール式が使用できる。ショートドウェル式ではブレードはエヤーチューブでローディングされた。アプリータロール式では機械的にローディングされ、ブレード先端角はローディング力とは無関係に一定に保たれた。

1 層塗工テストではスチレンブタジエン (SB) ラテックスとカルボキシメチルセルロース (CMC) をバインダとしたクレーコーティングカラーが使用された。2 層塗工テストではプレコート用として SB ラテックスとスターチをバインダとした粗い炭酸カルシュームが用いられた。トップコート顔料としては SB ラテックス、ポリビニールアセテート (PVAC) ラテックス、および CMC をバインダとして、細かい炭酸カルシュームと若干のクレーを混ぜたカラーが使用された。表 1 にコーティングカラーの詳細を示す。

ブレード後には最大 6 列の電気式 IR ドライヤと 4 列のガス IR ドライヤ、更にその後にはガス加熱エヤーフォイルドライヤ 4 列を使用し、多様な条件下で塗工

註) 本稿は 1990 年度フィンランド TAPPI 塗工会議で発表された論文の要約である。

表 1 塗 料 配 合

配 合	割合	固形分 含量%	粘 度 cp
1 層 塗 工		60.5	1,200~1,400
SPS*クレー	100		
80% < 2 μ m			
85.5% 白色度			
SB ラテックス	10		
中粘度 CMC	0.8		
不溶化剤	0.5		
蛍光増白剤	0.5		
2 層塗工, 下塗り		61~64	200~900
粗砕 CaCO ₃	100		
60% < 2 μ m			
SB ラテックス	6		
でんぷん	6		
不溶化剤	0.4		
上 塗 り		62	1,350~1,550
CaCO ₃	70		
90% < 2 μ m			
95% 白色度			
1 ブラジルクレー	30		
87% 白色度			
SB ラテックス	6		
PVAc ラテックス	6		
中粘度 CMC	1		
不溶化剤	0.6		
蛍光増白剤	0.5		
ステアリン酸塩	0.5		

* SPS はヨーロッパで最も一般的に使用される軽量塗工用顔料の一つで、英国のイングランド・チャイナ・クレーから供給されたもの。

面の乾燥が行われた。運転速度は 1,050 m/min から 1,200 m/min までの範囲で変化させた。中間段階では水分は 3.5% 以下に押え、最終水分は塗工量に応じて 4.5% から 6.0% の間で調節した。

3) 仕上げ用カレンダー加工

コートされた紙は 12 段のスーパーカレンダーを用いて、硬度 85 ショア D のコットンロールを使用し、310 kN/m 以下の線圧をかけ、運転速度 500 m/min でスーパー掛けされた。スーパー後の紙の水分は 2 層コート紙で 3.0~4.0% 1 層コート紙で 4.0~5.0% であった。

4) 印 刷

塗工後スーパーカレンダー加工されたテスト紙はヒートセットオフセット輪転機で印刷された。黒・青・

紫紅・黄色の順序でヒートセットカラー 4 色を使用した。運転速度は 236/min, しめし水の pH は 5.0, イソプロパノール含有量は 12% であった。乾燥フード内の温度は 160°C, 紙匹出口温度は約 130°C であった。

5) 紙 の 分 析

塗工量はコート紙と非コート紙（又はコート紙及びプレコート紙）間のアッシュ含有量の差で決定した。塗工量は X 線蛍光を用いてオンラインで測定し、水分は赤外線を用いてオンラインで測定した。

Bendtsen 平滑度は SCAN-P 21 : 67 に従って決定し、パーカープリントサーフ平滑度は 10 kg/cm² (S 10) で測定し、ハンター光沢値は角度 75° で測定した。塗層割れの傾向はフィンランド紙パルプ研究所が中質ヒートセットオフセット紙用として確立した方法に従って測定した。調湿済の紙を 300°C で 1.5 秒間乾燥した後、直ちにテストカレンダで流れ方向に線圧 4.6 kN/m で折りたたんだ。折たたんだ紙の引張り強さは SCAN-P 38 : 80 に従って測定した。

ウェットピック強度は乾燥した試料との比較によって決定した。塗工試料の表面を加湿し Huber のピッキングインキにより Prufbau で印刷を行い、乾燥した試料も同一条件で印刷した後、両試料のインキ濃度を測定してウェットピック強度の計算を行った。低い数値が耐水性が優れていることを示す。

ヒート・セット印刷された各種試料について肉眼で比較を行い、見た目の美しさと均一性について判定を行った。不透明度と白色度は SCAN 法にしたがって判定した。流れ方向表面強さは IGT, ISO 3762 によって判定した。

3. 1 層塗工, プレコート及びトップコート塗工量が紙の特性に与える影響

1) 2 層塗工と 1 層塗工の比較

40 g/m² の原紙に 1 層塗工した紙を他の 2 枚の紙との比較を行った。

他の紙とは④同一原紙に同一塗工量で 2 層塗工した紙及び、⑤ 44 g/m² の重い原紙に 2 層塗工で塗工量を増やした紙である。2 層塗工用の塗料は 1 層塗工で使用したものより安価であった。3 種類の紙のすべての特性を表 2 に記載する。結果は以下の通りである。

総塗工重量が同じである場合、2 層塗工紙は印刷後も平滑度は変らなかったが、1 層塗工紙は繊維が膨潤した結果、面が粗くなった。印刷光沢は 2 層塗工した方が優れている。2 層塗工紙の塗工量が増加すると、印刷前後の品質が全体的に向上する。

この他、同じ原紙に塗工した場合、2 層塗工をする

表 2 1層塗工紙と2層塗工紙の品質比較

	1層塗工	2層塗工	2層塗工
坪 量 g/m ²	40	40	44
塗 工 量 g/m ²			
トップ側	11.9	6	8
ボトム側	—	6	8
印 刷 前			
白 色 度 %	74	74	75
不透明度 %	94	93	95
平 滑 度* ml/分	17	12	11
紙 光 沢 %	59	62	66
印 刷 後			
平 滑 度* ml/分	22	10	10
平 滑 度* ml/分 (画線部)	25	12	12
印刷後の光沢 % (4色)	82	85	87

* Bendtsen

と1層塗工に比べて、総塗工量が少ない場合でも繊維被覆性と平滑度は1層塗工の結果を上回ることが判明した。プレコートに低コストの顔料を使用しトップコートで塗工品質を最適化すれば良いので1層塗工紙よりも安くなる。更に印刷用インキは主として2層塗工紙の表層に吸着されるので、インキの必要量が少なくすみ、繊維膨潤も少なくなり印刷機で穏やかに乾燥することが出来る。実機規模の設備では、紙の湿潤と乾燥の回数が倍になることによる紙強度の低下（伸び率の低下）及び2基のかわりに4基のコーティング

ヘッドを備えることによる生産効率の低下と上記各利点の得失を評価すべきであろう。

2) トップコートとプレコートの塗工比率が与える影響

トップコート塗工量は5.0から13.5 g/m²の範囲、プレコートは6.5から12 g/m²の範囲で変えてテストした。紙品質の評価はこれらの範囲全般で行った。結果の一部を表3に示す。

2層塗工紙の紙特性は、主としてトップコートによって決まり、プレコート層はトップコート用として均一な下地を作る役割を果たす。総塗工量を一定とするとトップコートが多いほど光沢、平滑度などの特性は改善されたが、総塗工量が少ない場合にはこの改善は見られなかった。

トップコート塗工量が増えるとウェットピック傾向が減少し、プレコート量に対するトップコート量の割合が増加すると見た目と表面の均一性が向上する。これらの改善対策をやるかどうかについては、トップコートの材料費増加額とよく比較検討する必要がある。実機では乾燥能力又は塗工プロファイルを維持する上から、使用可能な塗工量は限定されるものと考えられる。

図1に示す通り、プレコート量に対するトップコート量の割合が増加すると（特に総塗工量が多くなると）、塗層割れの傾向（折った紙の引張り強さとして測定）は増加した。しかし塗層割れの傾向に最も影響したのは、やはり総塗工量であった。MWC紙は繊維に対する塗工割合が高いので、実際の生産段階では塗層割れの傾向を注意深くモニターする必要がある。

表 3 トップコート量とプレコート量の比、総塗工量、塗工方法が印刷特性に与える影響

トップコート量と プレコート量の比	光 沢 %	平 滑 度 PPS	ウェットピック %	目視評価*
アプリケーションロール下塗り, 総塗工量 22 g/m ²				
0.84	58.4	1.23	0.73	21
1.38	61.2	1.14	0.64	22
1.62	66.6	1.08	0.38	14
アプリケーションロール下塗り, 総塗工量 18.5 g/m ²				
0.55	56.3	1.26	1.22	21
0.91	56.5	1.26	0.85	20.5
1.14	56.5	1.26	0.85	15
ショートドウェル下塗り, 総塗工量 16 g/m ²				
0.58	56.0	1.28	1.41	14
0.76	53.5	1.45	1.33	8.5
1.36	59.9	1.00	0.51	4

* 低い数値は均一性が高いことを示す。

図1 トップコート量とプレコート量の比が塗層割れの傾向に与える影響（白抜きはショートドウェル塗工，塗りつぶしはアプリケーションロール塗工）

図2 トップコート量及びショートドウェル方式とアプリケーションロール方式により塗工のプレコート量がIGT表面強度に与える影響

図3 トップコート量及びショートドウェル方式とアプリケーションロール方式により塗工のプレコート量が白濁度に与える影響

図2に示す通り、IGT表面強さに対するトップコート量の影響は相対的に僅かであり、プレコート量と塗工方法による影響の方が大きかった。特にショートドウェル式コートを使用した場合は、プレコート量を低く押えると、相対的に高い表面強さが得られた。これはトップコートがプレコートに浸透し、直接繊維層に定着できたためである。

図3に示すとおり、プレコート量、トップコート量共、2層塗工紙の白濁度に影響を及ぼす。プレコート量が9.5 g/m²を上回ると白濁度は高くなる。トップコート量が増加しても白濁度は増加するが、10 g/m²以上ではほとんど増加しない。白濁度はプレコート量を多くして約10 g/m²のトップコートをした場合に最高となった。

4. 異なる塗工法の効果

ショートドウェル式とアプリケーションロール式塗工法が紙の特性にどのような影響を与えるかを評価するため、両方式を使用してプレコートとトップコートに対してテストを実施した。ショートドウェル式コートでは原紙へ水とカラーが深く浸透しないので、紙匹の断紙が少なく走行性が良くなるものと考えられる。

1) プレコートテスト

プレコートに使用した場合、ショートドウェル方式では、表面強度が充分な強さになるほどバインダが原紙に浸透しない。但しプレコート量が6.8 g/m²と少ない場合には、トップコートのバインダは繊維層までプレコート層を通じて浸透し、図2に示す通り表面強さは向上した。

プレコート用にショートドウェル方式が使用された場合、白濁度が向上する(図3)。その理由は塗工顔料が原紙に深く浸透しなかったためと考えられる(白濁度はカラーの浸透度が向上しカラーの結合強度が向上して光散乱性が低下することによって減少する)。

紙表面への付着性がよくなった結果と思われるが、ショートドウェル式の場合、表面の均一性、光沢と平滑度がいくらか良くなった(表3)。

ロールアプリケーションのニップにより原紙表面が湿潤にされ、繊維は著しく膨潤される。この現象はブレードの前側で顕著に発生しブレード通過後は少なくなる。アプリケーションロール部のニップ圧力によりカラーが原紙に浸透し原紙への塗工層の定着性は改善されるが、顔料の一部が原紙内に浸透することにより白濁度が低下する。

ショートドウェル式コートに比べ幅方向の塗工プロファイルは均一となる。表面強さは顔料とバインダの

原紙の繊維層への浸透量に左右されるので、アプリケーションロールをプレコートに使用することにより表面強さは向上し、塗層割れの傾向もやや減少した(図1)。

2) トップコーティングテスト

図4に示す通り、アプリケーションロール方式をトップコートに使用した場合、ショートドウェル式コートに比べ光沢は良くなった。従ってMWC紙のトップコート用として適切な方式であると考えられる。これはアプリケーションロール方式のニップ部での浸透圧力とドウェルタイムが長いことによりドクタリングされる前にプレコート紙の不均一部分がカラーで埋められ、光沢と平滑度が向上したものと考えられる。原紙の場合ほど著しくはないが、メタリング前にプレコート面が膨潤してしまうことも上記の改善に寄与しているものと考えられる。アプリケーションロールを使用すれば、高塗工量でも容易に塗工出来る。一方、光拡散表面をいくらか失うことによってアプリケーションロール方式では白色度が約0.5程度低下する。

トップコート層をプレコート層により効果的に定着させることにより、ショートドウェル方式に比べてより優れた表面強さが得られるものと期待されたが、上記のテストには当てはまらなかった。表面強さはトップコート塗工方法とは無関係で、プレコート層とトップコート層間の結合強度よりも原紙とプレコート層間の結合強度の影響の方が大きいと考えられる。

5. 乾燥の最適化

中質コート紙用として最適な乾燥工程を見出すためにいくつかの研究が行われた。色々な発見がなされた中で、乾燥方法がLWC紙のモットリングに強く影響していることが判明した。最近では2層塗工された中

質コート紙に対する乾燥の方法の研究も行われている。

1) プレコート乾燥テスト

プレコート乾燥テストにおいては、低粘度のスターチをバインダとして用い、ショートドウェルにより塗工された場合、紙の光沢と平滑度は赤外線乾燥により強い影響を受けた。一方、中程度の粘性のスターチをバインダとして配合した場合、又はアプリケーションロールで塗工した場合には、光沢と平滑度は乾燥方式による影響をほとんど受けなかった。図5、6に赤外線の強度が光沢と平滑度に対しどのように影響するかを示す。低粘性を持つスターチによるバインダを使用し、ショートドウェル方式で塗工される場合、400 kW/m 迄赤外線を強化すると2層塗工されスーパーカレンダ掛された紙の光沢と平滑度は減少する。但しこの限度を越えて赤外線を更に強化させると、光沢と平滑度は再び増加する。これは原紙への赤外線吸収性が400 kW/m の遷移点にて最大になるためである。これらの条件下では紙の光沢はエアードライヤの温度と空気流速によっても影響を受ける。

図5 赤外線乾燥とプレコート方式が光沢に与える影響

図4 トップコート量と塗工方式が光沢に与える影響

図6 赤外線乾燥とプレコート方式が平滑度に与える影響

ブレード後の2基のエアフォイルドライヤの蒸発率を低く設定することにより、高蒸発量にて乾燥したときに比べて最高7ポイント光沢が増加した。高粘性のスターチを使用した場合には、上記とおなじ現象は認められず、乾燥方式による影響は受けにくいことを示している。2層塗工された最終製品の印刷の見たと均一性（モットリング表示のための染料を使用して測定）は乾燥方式及びスターチの粘性の変化とはあまり関係しない。

アプリケーションロールによってプレコートした場合、乾燥方式の変更により紙の光沢ないしは印刷光沢は大きな影響は受けず、平滑度にも影響はなかった。その理由はアプリケーションロールを使用した場合、プレコートに伴う繊維膨潤の大部分がブレード前に生じるので、ブレード後の塗工厚みがより均一になり乾燥方式による影響を受けにくいためである。しかしエアフォイルで強く乾燥したり高強度の赤外線乾燥した場合は2層塗工後の製品にやや多めのモットリングが生じた。図5、6に示す通り、原紙坪量及びトップコート量が高い場合、ロールアプリケーションでプレコートされた紙は高い光沢と平滑度を示す。

白色度、不透明度、IGT、表面強さ、インキ濃度及び塗層割れの傾向等は乾燥方式による影響をうけなかった。総論として、プレコートの乾燥方式のテストを通して乾燥方法を変更しても、オフセット輪転機用中質系MWC紙の品質に大きな影響を与えないことが判明した。従ってプレコート後のドライヤの最適化をはかるに当たっては、品質上の問題点より乾燥能力やコストの低減に考慮を払うべきである。

2) トップコート乾燥テスト

トップコートの乾燥テストでは様々な方法による乾燥後、Croda インキでサンプルを着色し目視評価を行った。赤外線の強度を上げてゆくと500 kW/mまでは、図7に示すようにモットリングは増加した。このレベルを越えると赤外線の強度を上げることによりより均一な表面が得られた。図8に示す通り、エアフォイルでも蒸発量を高くすると多くのモットリングが生じた。トップコートの乾燥に関しては近い将来、更に詳細な研究を実施する予定である。

6. コータのコンセプト

4基のブレードコータによるMWC紙の生産方法としては下記の3種類の方法が考えられる。

- (1) 4ステーション付オフマシコータ
- (2) 2ステーション付オンマシコータ及びオフマシコータ 各1台

図7 トップコートにおける赤外線が目視のモットリングに与える影響

図8 トップコートの最初のエアオイルで蒸発率が目視のモットリングに与える影響

(3) 2ステーション付オフマシコータ 2台

1) 4ステーション付オフマシコータ

2層塗工MWC紙を効率的に生産するには、ブレード式4ステーションを持つオフマシコータが理想的である。オフマシ方式は同一マシンで非塗工紙及び塗工紙の両方を生産しなければならない場合に理想的である。

一方、この方式で1層塗工紙を生産するのは複雑すぎて適当でない。またこの方式ではコータの走行性が優れていることと、原紙の欠陥が最小限度であることが条件となる。コータでの断紙が抄紙機に影響を与えない場合であっても、コータの稼働率は断紙や停止によって激減する。

2) 2ステーション付オンマシンコートと2ステーション付オフマシンコート

2ステーション付オンマシンコートと2ステーション付オフマシンコートの組み合わせは、4ステーション付オフマシンコートに比べ、特に1層塗工紙の生産においてフレキシビリティに富んでいる。同時にオペレータも少なくすむ。しかし、この方式ではオンマシン塗工に挑戦しなければならない。

プレコートでの断紙は抄紙機全体に影響を及ぼすので、高効率を得るには優れた走行性と原紙の欠陥が最小限であることが不可欠である。プレコート紙の紙匹欠陥は、トップコート前にリリーラーで取り除くことが出来るのでオフマシンコートでの断紙の危険性は比較的少ない。このオンマシンとオフマシンコートの組み合わせは、1層塗工紙と2層塗工紙の両方を生産するのに最も問題の少ない方法である。但し非塗工紙を生産するには、オンマシンコートを含まない方式に比べて複雑である。

3) オフマシンコート2基

紙の走行性に問題がある場合、オフマシンコートを2基使用するのが有利な方法である。抄紙機後とプレコート後に紙匹の欠陥をリリーラーで取り除くことが出来る。この方式を用いることでトップ塗工時の走行性の向上が期待される。どちらのコータの断紙も抄紙機又は一方のコータの稼働率に影響を及ぼすことはない。

非塗工紙、1層塗工紙及び2層塗工紙等を生産する場合に、この方式により最大のフレキシビリティを得ることができる。他の方式に比べ投資額とオペレータの人数は多くなる。

なお、より集約された方式に比べ、連続運転中の損紙量は多くなるが、フレキシビリティと走行性が重要視される場合にはこの方式を採用することになろう。走行性に問題を生じやすい強度の低い紙を生産するには特に適している。

7. おわりに

1層塗工に比べ2層塗工は明らかに印刷後も均一性を保つ品質上の利点がある。2層塗工は塗工に必要な

構成要素のトータルコストを下げる場合もある。

特に塗工量が多い場合、総塗工量一定のときトップコート量を増加させることにより、紙の光沢と平滑性が改善される。白色度はトップコート量約10 g/m²とプレコート量9.5/m²以上の塗工で最高になる。プレコート用にロールアプリータを使用することにより、表面強さと塗層割れ抵抗が向上する。プレコート用にショートドウェル式コータを使用することにより白色度は向上し、光沢、平滑度及び紙表面の均一性もある程度向上する。プレコートにショートドウェル式コータを採用すれば、走行性とコータの稼働率をより高めることが出来る。

アプリータロールによりプレコートする場合、プレコートの乾燥方式による光沢と平滑度への影響はほとんどない。ショートドウェル式コータによりプレコートする場合、紙の光沢は赤外線ドライヤの出力レベルとエアフォイルドライヤの温度と空気流速による影響を受けるが、印刷後の紙の見た目の美しさと均一性は乾燥方式の影響を受けない。スターチの粘度が大きいことも乾燥方式の影響を低下させ、粘度が小さいと影響は目立って増大する。プレコート乾燥方式は中質、ウェブオフセット MWC 紙の品質には大きな影響を与えない。従って MWC 紙についてプレコート乾燥の選択を行う場合、品質上の問題よりも乾燥能力と経済性の考慮を優先させることが出来る。トップコート乾燥方式を選択する場合は品質に対する考慮がより重要である。

トップコート用としてロールアプリータを使用すると、ショートドウェルの使用に比べ光沢は向上する。またロールアプリータの使用はショートドウェルの使用による塗工量の増加に伴う問題を解消する。フレキシビリティ及び走行性からみれば、オフマシンコート2基を備えた生産ラインが MWC 紙用としては最適な方式である。

この方式は投資額が大きくなるので、他の方式についても考慮する必要がある。各方式の中から1つの方式を選定する場合、生産の対象となる紙のグレードと品種が決定要因となるであろう。