誘導発熱ジャケットロール —製紙における高温ロールの役割について—

トクデン株式会社技術部 岡 本 幸 三

Induction Heated Jacket Roll —High Temperature Calender Roll for Paper Finishing—

Kozo Okamoto
Tokuden Co., Ltd.

Recently, to increase the quality of paper, high temperature calendering is attracting a great deal of attention.

To increase gloss, smoothness, tear strength and bulk of the papers, calender roll having higher temperature capabilities is an effective measure.

Now, Induction Heated/Heat-Pipe Rolls are attracting a great deal of attention because of high temperature capability and self-profiling of the temperature uniformity across the roll.

1. はじめに

抄紙工程の最終段におけるカレンダー加工において高温の熱ロールを配置し、嵩や強度の低下を最小限に押さえながら、平滑性・光沢などの印刷適性を改善する高温熱ロールカレンダー法が注目されて久しい。

その中にあって、高温蒸気や熱媒体油をロール内部に導入する従来の熱ロール方式に対し、ロール内部に電気的熱源を有するとともに、ロール表面温度分布を自己補償する機能を持った誘導発熱ジャケットロールの生産ラインへの展開が始まった。

実用例を交えながら、ここに改めてジャケットロールの技術を紹介させていただく。

2. 誘導発熱ロールの普及について

2.1 誘導発熱ロール製品化の歴史

当社はもともと静止誘導機器、つまり変圧器メーカーとして約55年前に誕生し、一貫して電磁誘導機器を生産してきた。そして約30年前この変圧器の原理を応用した誘導発熱ロールを世界に先駆けて開発し、また今では一般的となったヒートパイプの技術を約25年前に、やはり世界で初めて熱ロールに応用した。

以降、合成繊維、プラスチックフィルム、磁気テープ、不織布、鉄、非鉄等の高付加価値化に寄与してきた。特に磁気テープのスーパーカレンダーロールでは国内シェアは95%以上を、また不織布のエンボス、カレンダーでは同40%を誇っている。

この間、誘導発熱ロールに関する工業所有権の実施権供与を他社に対して行うなど、広く産業各用途へ普及すべく貢献してきた。

2.2 製紙業界への展開

約10年前より、紙のカレンダーのテストロールとして一部のユーザに納入してきたが、1つの大きな転機となったのがPAPRICAN（カナダ紙パルプ研究所）との接触であった。PAPRICANからの技術的指導とともに、PAPRICANにおけるパイロットラインへの誘導発熱ロールの導入により、オイルロール等の従来方式ロールに対する優位性の実証や、技術開発テーマの摘出などを精力的に行うことができた。

その結果、後に紹介する抄紙機への展開が可能となったものと思う。

3. 誘導発熱ロールの原理

3.1 基本原理

高温ロールとしての必要条件を求められる誘導発熱ロールの断面図ならびに発熱原理模式図を図1に示す。

回転ロールの内部に、静止構造物として、また非発熱体としての誘導コイルが備えられ、これに商用周波の交流電源を供給することで、誘導コイルは交番磁束を発生する。結果、変圧器の原理と同様、回転ロールは2次コイルとなって、ロールの周方向に低圧の誘導電流が流れ、ロール自身がジュール発熱する。つまり、ロール自身が発熱体であり、ロール表面温度を感知する温度センサをロールに埋設し、フィードバックループによる電源制御を行うことで、いかなる温度であっても精度よくその温度に維持することが可能である。

これが高温ロールとしての、間接加熱方式とはまったく異なる誘導発熱ロールの第1点目の特徴である。

第2点目の必要条件として、ロールの表面温度分布が挙げられる。これを達成するため、大きな熱輸送能力を有するデバイスとしてのヒートパイプをロール内部に備えている。

このヒートパイプの原理を図2の模式図を用い、紹介する。

1つの閉じられた容器に、わずかな量の作動液（熱媒体）が真空下で封入されており、図のごとく、A、B、C、の3カ所の温度をそれぞれ T_A 、 T_B 、 T_C 、としたとき、いま例として

$$T_A = T_B > T_C$$

とすると、それぞれの位置における容器内の飽和蒸気圧 P_A 、 P_B 、 P_C は、その温度と比例関係になるため、

図 1

図 2

$$P_A = P_B > P_C$$

となる。

この結果、A部、B部の作動液の蒸気は、低温であるC部に流れ、そこで凝縮し、蒸気が持っていた蒸発潜熱を与え、C部の温度を上昇させる。

この動作は各部位に温度差がある限り自動的に、また連続的に継続され、しかも蒸発潜熱というもっとも効率的な熱エネルギーの輸送手段で温度均一化が達成されることとなる。

このヒートパイプ機能を誘導発熱ロールに組み込むことで、いかなる熱的負荷がロール表面に加わっても、ロール表面温度分布の不均一性は最小限にとどめることができる。

図3は、ロール肉厚内に設けられたヒートパイプを示す断面図で、ドリルドロールと同様、ロールの軸方

図 3

向に多数のドリル孔が加工され、1部は各々独立にヒートパイプを構成してロールの軸方向の温度分布を補償し、また1部はそれぞれがヘッダ部を介して連通し、相互影響をもたらしてロール円周方向の温度差を補償するという役割を担っている。

さて、製紙用カレンダーロールのごとく、長尺で、かつ高速回転するロールでは、円周方向の温度差の発生は致命的となる。円周方向に発生した温度差は、ロール軸方向の熱膨張差をもたらし、結果としてロールが湾曲して、振れ回り (run-out) を起こす。

端的な例として、マシンカレンダにおける断紙時のロール回転停止中に、物理的に発生する自然対流冷却の結果、ロール円周方向に温度差を生ずる。そしてロール回転、ニップ開始時にこの振れ回りがもたらす機械振動、紙厚不良などのトラブルについては、改めて説明するまでもないと思われる。

スパイラル流路、トライパス流路を有するオイル加熱ロールでは、この円周方向温度差の自己補償能力があるが、誘導加熱方式のロールではヒートパイプの周方向の連通は必須といえる。

したがって、ロール内部に市販のヒートパイプを挿入もしくは圧入しただけの方式で構成されたロールでは、このような特性を発揮することができない。

3.2 他方式ロールとの比較

ロールの熱源がロール自身に無い場合、例えば蒸気やオイル循環方式の場合、無負荷時におけるロール表

面温度はこれら熱源温度とほぼ同一であるが、一旦通紙されると、紙幅内のロール表面温度は低下してしまう。

この低下幅は、ロール表面から紙へ移行する熱エネルギー量と比例関係を示し、従来方式のロールで高温カレンダー処理しているつもりが実はそうではなかったという事例を多数目の当たりにしてきた。

また、紙幅内のこの温度低下は、熱膨張差に起因したロール全幅におけるロール直径プロファイルの不均一を生み、紙の両端のみを過加圧気味にカレンダーしてしまうという OX-BOW 効果をもたらす。

紙の高温カレンダーにおける消費熱エネルギーは、たとえワンニップ、ストレートパスの短時間ニップバンドにおいても、予想をはるかに越える大きなものとなる。これは、高温のロールに接触した紙の表層の水分が急激に加熱、蒸発、気化し、そして再び紙の厚みの中で凝縮、液化されるためであり、紙の温度を上昇させるだけでなく、水分の以降をもたすためである。

この紙厚内での高温蒸気の動きがまた表層の緻密化に作用し、逆にカレンダー前後の紙自身の水分率に大きな変化が見られないのもこのためである。

さて、以上で述べた大きなエネルギーの移行に対して、誘導発熱ロールの2つの特徴が寄与することはいうまでもない。

すなわち、ロール自身が発熱体となり、表面温度を常に管理でき、しかもヒートパイプの作用によってロ

ール表面温度の均一性が維持できるということである。

これらの優位性等は、先に述べた PAPRICAN からの複数の実験、実証データで一般に公開されており、また今後も各種データが提供されることと思う。

3.3 誘導発熱ロールの技術的展開

ここまで述べてきた通り、高温ロールカレンダー法における熱ロールに対する必要条件は、いかなる温度、熱的不可条件下でも、ロールの温度を一定に、しかも均一に維持することであり、また同時にロール直径プロファイルも研磨時と同等に維持することであるといえ、これに対し、「誘導発熱」技術と「ヒートパイプ」技術との組み合わせがもっとも容易にそれを達成する手段となり得るといえるが、これら基本的特徴に加え、実用化にはさらに多くの技術が展開されなくてはならない。

その代表例といえるのが次に紹介する「クロス・ダイレクション・プロファイル・コントロール・ロール」(以下 C. D. P. C ロール) である。

ロールの軸方向に対し、ロール直径プロファイルを微妙に調整できる機能を持たせたもので、図4がその原理を示す模式図である。

ロール内部の誘導コイルが軸方向に対し細分化され、各々独立して電力供給できるようになっており、例えばこの図では6分割されていて、左から3番目のコイルにのみ電力供給した場合を示している。

図 4

このコイルに対向したロール内周のみ発熱し、その熱は半径方向に伝導してヒートパイプの部分で軸方向に分散、輸送される。

したがってロール表面温度は、図のごとく、電力供給されたコイルの位置に関係なく均一に維持される。一方、ロール内周の軸方向温度分布は、つねに発熱している該コイルの部位が他の発熱していない部位よりも高くなり、外部誘導加熱コイルと同様の作用、つまりその部位の熱膨張を助長してロールの直径プロファイルを変化させるものである。

ヘッドボックスにおける坪量の誤差など、紙厚ムラをもたらし要因をカレンダーパートで補正する、あるいは先に述べたカレンダーロール自身に起因する OX-BOW 効果の低減など、この C. D. P. C. ロールの実効が証明されており、1 部のユーザではカレンダー後の紙厚データをこのロールにフィードバックさせ、プロフィール制御を試みられているところである。

4. 納入実績

過去 1 年間における抄紙ラインへの誘導発熱ロールの納入実績の代表例を紹介する。

- ①用 途：オフマシンコート、マット仕上げソフトカレンダー、塗工紙、2 スタック・タンデム配置

紙 幅：3,400 mm
抄 速：max. 1,000 m/min.
温 度：max. 180°C
コイル数：14 分割

納入数：4 本

- ②用 途：オンマシン、ハードニップカレンダー、板紙

紙 幅：2,850 mm
抄 速：max. 600/min
温 度：max. 200°C
コイル数：11 分割
納入数：1 本

- ③用 途：オンマシン、ハードニップカレンダー、板紙

紙 幅：3,200 mm
抄 速：max. 600 m/min.
温 度：max. 200°C
コイル数：12 分割
納入数：2 本

また現在、ドイツの製紙機械メーカーと組み、スウェーデンの製紙会社に納入するロール長さ 6 m のミルクカートン用ボード紙の高温カレンダーロール 2 本を 10 月に出荷予定である。

5. む す び

以上で述べてきた誘導発熱ロールの技術的特徴に加え、電気加熱特有のクリーン度に代表される環境衛生対策も重要なファクタである業界のさまざまなニーズを敏感につかみ、技術開発を通して、紙質のさらなる品質向上の一助となることを願い、結びとしたい。