三菱ヒートパイプ均熱ロールの特長

三菱電機株式会社神戸製作所電機製造部電機システム技術課 益 井 博 志

Superior soaking property achieved by integrating the Induction Heating Method and the Heat Pipe

Hiroshi Masui

Heat control & mechanical systems engineering section, New energy & mechanical systems department,
KOBE Works, MITSUBISHI Electric Corporation.

The Mitsubishi Heat Pipe Type Heating Roll was made possible by combining the induction heating method, by which the roll itself is heated by the induction coil built into the roll, and the heat pipe mounted on the roll part.

Thanks to the soaking effect of the heat pipe, the soaking property on the overall roll surface is largely improved.

1. ま え が き

三菱ヒートパイプ式均熱ロールは、ロール内部に組み込まれた誘導コイルにより直接ロール自体が発熱する誘導加熱方式と、ロール内部に設けたヒートパイプを組み合わせたもので、ヒートパイプの均熱作用によってロール表面全域の均熱性を著しく向上させた加熱ロールであり、特にラミネーター・カレンダー・コー

ター等をはじめとして幅広く使用されている誘導加熱ロールである。

2. 三菱ヒートパイプ式均熱ロールの構造と原理

2.1 構 造

図1参照。

図1 三菱ヒートパイプ式均熱ロールの構造

2.2 原 理

(1) 熱 源

加熱用熱源には誘導加熱方式*を採用している。この方式はロール自体が発熱するため、他の加熱源（例えば、蒸気・高温油等）を採用した方式に比較して効率並びにレスポンスを含めた温度制御性の面で良好な加熱が得られ、また付帯設備も軽減される。

*誘導加熱方式：ロール中心部に配置したコイルに交流電流を流し、生じた交番磁界をロール本体に導き、電磁誘導作用によってロール内面に誘起した電流でロール本体自体を発熱させる加熱方式。

(2) 均 熱 性

ロール表面の温度を有効長全域にわたって均一に保つため、銅の数十倍から数百倍の熱輸送能力のあるヒートパイプをロール本体内の円周上に多数配置している。この結果、ロール有効長内における表面の温度分布を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に保持することが可能である。

3. ヒートパイプについて

ヒートパイプとは熱伝導率の極めて高い伝熱管のことで、その概念は1940年、アメリカGM社のR. S. Gaugler氏により初めて研究され、その後20年余り埋もれたままになっていたが、1960年代の航空宇宙産業の発展とともにヒートパイプの研究開発は急速な進展をとげ、1967年の人工衛星への実用化を端緒として順次民生用、工業用へとその用途を拡大してきている。

ヒートパイプは図2に示すように、円筒の容器にウィックと呼ばれる多孔質材を内張りし、真空減圧後少量の液体（作動流体）を充填して密封したもので、ヒートパイプの一端を加熱すると、内部に封入されている作動流体は蒸気となり他端へ移動する。他端で冷却されている作動流体は液体となりウィックを通り蒸発部へ戻る。これらがパイプ内で絶えず繰り返され、熱は一端から他端へと伝えられる。

図2 ヒートパイプの構造と原理

図3 ヒートパイプと銅棒の伝熱比較

このように、作動流体の相変化（液体→蒸気）に伴う潜熱を利用して熱輸送を行うため、僅かの温度差で大きな熱をスピーディー且つ効率良く輸送することができる（図3参照）。

ヒートパイプの性能を左右する要因として均熱ロールへのヒートパイプ応用時に特に留意しなければならない点として

①真空度の問題

ヒートパイプ容器内の真空度は高い程性能の良いものとなる。

②ヒートパイプ容器の材料と作動流体の選定の問題

ヒートパイプ容器の材料と作動流体の選定に当たってはその組み合わせについて特に留意する必要がある。たとえば容器の材料として鉄、作動流体として水を組み合わせた場合、水は鉄と反応するので、この結果として容器内にガスが発生し容器内の真空度が低下することとなり、均熱ロールの経年的性能劣化として表面化することになる。

当社では長年の研究に裏付けされた成果として特にこの点に注意を払っており、経年的性能劣化の無いヒートパイプを装着した均熱ロールを提供することが可能である。

③容器内の作動流体の充填量の問題

容器内に充填する作動流体は、多過ぎると熱抵抗となり性能を十分に発揮することができない。又逆に少なすぎても液涸れしてしまい同様に性能を発揮しなくなる。

作動流体の適性充填量についても長年に渡って積み

重ねられてきた当社のヒートパイプに対する研究と実績が反映され、性能の良い均熱ロールを製作することが可能となっている。

4. 三菱ヒートパイプ式均熱ロールの特長

(1) すぐれた均熱性能

ヒートパイプの均熱作用によりロール表面全域で高い均熱性を有している。ヒートパイプ容器と作動液の適切な組合せによりヒートパイプ内部の真空度は経年的に劣化せず、従ってガス抜き作業は必要としない。図4に示すように温度分布が良く、ロール全長に対して均熱部分が長い（言い替えれば無効長が短くなる）ので、取り扱う製品の歩留まりが改善される。或いは機械装置がコンパクトになり機械の設置スペースが改善される。

特にカレンダーロールの場合、ロール表面の温度差がロール直径の熱膨張差となって上下のロール間の隙間変動となる結果、取り扱う製品の密度・厚み・平滑性・光沢等に影響を与えることとなるが、このような問題が改善される。

(2) 負荷応答性

ヒートパイプの作用により、負荷変動に対してすばやくロール表面の均熱性を保つことができる。負荷の通らないロール表面も負荷を受けるロール表面と温度を同一にしようとするヒートパイプの働きがあり、ニップロールの寿命が改善される。

(3) 省エネルギー性

ロール自体を発熱させているため配管途中での熱放散等を含む熱損失が少なく、他の加熱方式にくらべ省エネルギーが実現される。ロールの温度を直接制御しているので、設定温度そのものの精度が改善されると共に温度制御のレスポンスが早くなり、設定温度に対するオーバーシュート或いはアンダーシュートといっ

た問題も改善される。

(4) 操作が容易

電気誘導加熱のため温度制御がしやすく、使用温度に合わせて容易に温度設定が可能である。夏場と冬場との周囲温度の違い等、周囲温度に影響される度合いが少なくなるので、上述したレスポンスの改善効果と併せて操作が容易となる。

特に熟練作業者の長期的確保が困難となっている昨今、温度設定を含めて操作の容易なシステムは、長年の経験によって温度の設定値を決めていたといったような問題が解決される。

(5) 付帯設備が不要

ロール自体に加熱源を持っているために他に加熱装置・配管などの付帯設備が不要である。特にロータリージョイントが不要となるので、ロータリージョイントを交換する際に生じる液媒の漏れと高温の液媒に対する火傷等の安全衛生問題に対する解決手段となる。

5. 温度制御方式

ロール温度はロールに埋め込まれた温度検出センサーにより検出され、温度制御盤内部の温度調節器にフィードバックされる。

温度調節器により、ロール温度とロール温度設定値を比較しPID制御により電力量の制御を行う。そのためにロールは常にロール温度設定値に保たれる。また、PIDのパラメータはオートチューニング機構により自動設定されるので、常に最適な制御が行われる。

6. ロール材質とニップ圧

ロールの材質は一般的には機械構造用炭素鋼を使用し、必要に応じてロール表面に硬質クロームメッキ・テフロンコーティング・セラミックコーティング・ゴムライニング・エンボス加工等を施す。

なおカレンダーロール等では、基本的に硬度と面摩耗に優れ、機械強度と靱性に富み過酷な使用に耐えるものでなければならないと共に、取り扱う製品との相性といった問題もあり、必要に応じて鍛鋼ロール或いはその他の特殊な材料を用いる場合もある。

ニップ圧についての現在の業界動向は60～500 kg/cm程度とみられているが、当社では一部特殊な用途として1, 500 kg/cmという超高压ロールも実現しており、機械精度も含めて業界の要求に充分応えられる技術力を有している。

7. ロール加熱の効果とその用途

加熱・加圧処理することは一般的にアイロン効果と

図4 均熱ロール表面温度分布実測例

称せられており、繊維結合で表面がざらざらしているものを適当な温度でアイロンかけをする効果を期待されている。

ロールを加温することによる材料への効果は、取り扱う材料の種類によってその重要度も異なってくるものと考えられるが、カレンダーロールでは、

- ①低ニップ圧で必要な材料厚さが得られる
- ②少ないニップ数で平滑度・光沢の改善が図られる
- ③材料強度の低下を抑制出来る、場合によっては材料強度の向上が図れる

④密度等を含み均一な材料が得られる
等の効果により加熱ロールが使用される。

その他、材料を加熱軟化させることにより

- ①フィルム等の熱延伸用、或いは延伸後の熱固定用
- ②フィルム・金属箔・紙・不織布等のラミネーター、コート用
- ③印刷・人造皮革・不織布の模様等を含む熱転写の分野
- ④フィルム・シート等のしわ取り、歪取りに使用されるシーズニング・アニーリング用

等の用途に応用されているが、最近では乾燥工程ラインの設備の長さを短縮するために、印刷・塗装工程等への乾燥用として、或いは一部業界での蒸着用等へとその用途が広がりつつある。

8. 業界の動向

近年、どの業界においても取り扱う製品のグレード

アップ・操業効率化等に伴うロールの高温化・高圧化・高速化・高精度化等の動きに対し、従来の加熱方式である『蒸気加熱方式』『温水加熱方式』等では加熱出来る温度そのものに限界があることと、ロール表面の温度分布精度、又圧力容器としてのライセンス取得、ロータリージョイントが必要であること等、種々の問題が内在しており、この結果として、

- ①外的条件の影響を受け易いことからロール温度設定に経験と熟練を要するため、熟練作業員確保の問題
- ②ロール表面の温度分布精度が外的条件により変化を受け易いために定期的にロール表面温度を計測せざるを得ない等、取り扱う製品の品質確保上の問題
- ③ロータリージョイントを交換する際に発生する液媒の漏れとこれの処理に対する職場環境上の問題、或いは高温の液媒に対する火傷等安全衛生上の問題
- ④ボイラー新設に対する環境公害問題への配慮
- ⑤圧力容器としてのライセンス取得が困難な一部の国への、輸出上の制限

等の問題が顕在化しており、これら問題点を解決する手段の一つとしてヒートパイプ理論を応用した電気誘導加熱方式の均熱ロールの採用が今後とも加速されるものと考えられる。