

(鋼管の誘導加熱シミュレーションモデルの開発-1)

新日鐵 生産技術研究所 川口 正, 市古修身
 新日鐵 工作事業部 神崎 寿
 新日鐵 名古屋製鐵所 伊藤亀太郎

1. 緒言

誘導加熱方式は最近鋼材, 殊に鋼管の連続熱処理炉等にその特性を活かして広く普及しつつある。しかし本方式の発熱機構の複雑さから走行加熱過程を精度よく解析する理論モデルはこれまで開発されていなかった。筆者等は鋼管の走行誘導加熱炉の最適設備設計及び最適操業条件の確立のため温度解析, 負荷電気特性解析等広範囲の解析機能を有する高精度シミュレーションモデルを開発した。本報は主としてモデルの基本的考え方と温度解析例について述べる。

2. シミュレーションモデル

誘導加熱過程は理論的にはマクスウェルの電磁方程式とフーリエの熱伝導方程式の連成問題として解く。電磁方程式は

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{I} + \epsilon \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\mathbf{I} = \kappa \mathbf{E} \quad (3)$$

で表わされる。これらを解くために, $\text{rot } \mathbf{A} = \mu \mathbf{H}$ なるベクトルポテンシャル \mathbf{A} を(1), (2)式に代入し, 更に正弦波交番磁界の下で変形すると

$$\text{rot} \cdot \text{rot } \mathbf{A} + (\omega^2 \mu \epsilon - j\omega \kappa \mu) \mathbf{A} = 0 \quad (4)$$

となる。また誘導電流 $\mathbf{I} = -j\omega \kappa \mathbf{A}$ により導体中の発熱量 Q は

$$Q = -\kappa \omega^2 \mathbf{A}^2 \quad (5)$$

となる。但し, \mathbf{E} = 電界強度, \mathbf{H} = 磁界強度, \mathbf{I} = 電流, μ = 透磁率, ϵ = 誘電率, κ = 導電率, ω = 加熱電源角周波数。一方, 熱伝導方程式は次式で表わされる, 即ち

$$c w \frac{\partial \theta}{\partial t} = \text{div} (\lambda \text{grad } \theta) + Q \quad (6)$$

但し, c = 比熱, w = 比重, λ = 熱伝導率, θ = 温度。本モデルは(4)式を図1に示す如き境界条件を仮定しフーリエ級数法で解き

$$\mathbf{A} = \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n J_1(\eta r) + b_n Y_1(\eta r)\} \cos \beta_n z \quad (7)$$

但し, a_n, b_n = 係数, $\eta = j\sqrt{j\omega\mu\kappa}$, $\beta_n = n\pi/T$, n = 奇数, なる解を導出する点と, 管軸方向に微少部分を考えこの点の加熱コイルとの相対位置の移動に添って順次(7), (5), (6)式を計算し加熱過程を解析する点に特徴がある。図2に走行誘導加熱に於ける昇温曲線, 図3にはコイル電流-加熱温度特性を夫々本モデルによる計算値と実験値との対応で示す。

3. 結論

本モデルの開発により高精度で鋼管の走行誘導加熱に於ける昇温特性, 温度分布, 或は温度分布の周波数依存性等, 基礎的な加熱特性解析が可能となり, それにより最適設備設計, 均一加熱技術の確立, 或は自動温度制御方式の確立等操業の最適化のための解析が可能となった。

4. 文献

J. D. Lavers and P. P. Briringer: An analysis of the coreless induction furnace.

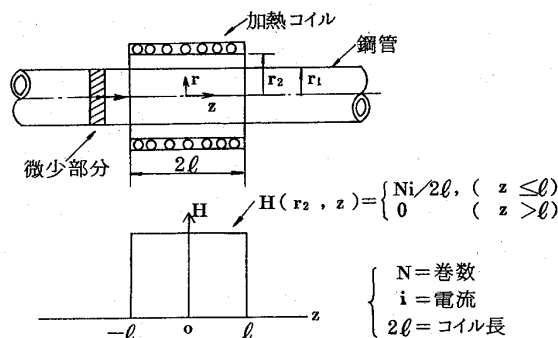


図1. 起磁力の境界条件

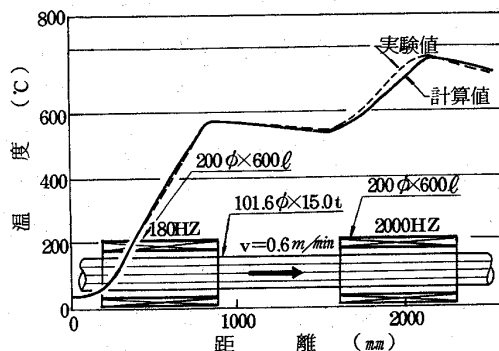


図2. 走行誘導加熱に於ける昇温曲線

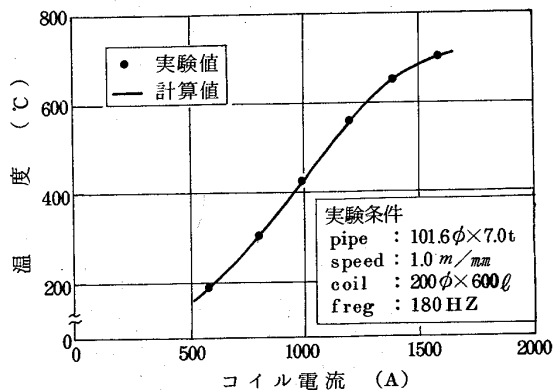


図3. コイル電流-温度特性