

(278)

誘導加熱の解析

住友金属工業㈱中央技術研究所 ○牧野 義 小野正久

I はじめに

鉄鋼業において、誘導加熱は鍛造・押し出し等のビレット加熱、大径鋼管・継目無鋼管等の熱処理、車軸・歯車等の高周波焼入れなどに広く応用されている。最近、誘導加熱炉の省エネルギー操業、最適コイルの設計技術の確立、新しい応用分野の開拓等の要請があるが、誘導加熱の理論解析はその発熱機構が複雑なために簡単な条件の場合を除いては容易でなく、従来検討された例は少ない。このたび応用範囲の広い誘導加熱の数値計算法を確立したので報告する。

II 解析方法および計算例

誘導加熱の理論式として周知のマクスウェルの電磁方程式(1),(2)式)があるが、筆者らはこのマクスウェルの方程式の対象場を電磁場からポテンシャル場へ変換するいわゆるベクトルポテンシャルによる解法を採用して誘導加熱現象を解析することにした。この方法によれば境界条件の取り扱いが簡単になり、さらに変数の数も半減するので数値計算上特に好都合である。

$$\text{rot } \mathbf{E} + j\omega\mu\mathbf{H} = 0 \quad (1)$$

$$\text{rot } \mathbf{H} - (\sigma + j\omega\epsilon)\mathbf{E} = \mathbf{J} \quad (2)$$

↓

$$\text{rot} \cdot \text{rot } \mathbf{A} + (\omega^2\mu\epsilon - j\omega\sigma\mu)\mathbf{A} = -\mu\mathbf{J} \quad (3)$$

E: 電界, H: 磁界, J: コイル電流密度

A: ベクトルポテンシャル ($\mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot } \mathbf{A}$), μ : 透磁率 ω : 加熱電源周波数, ϵ : 誘電率, σ : 導電率

被加熱体・加熱コイルを含む適当な領域で、それらの形状によって定まる境界条件を与えて数値計算により(3)の基礎式を解けば被加熱体内部のベクトルポテンシャルが求められる。これを変数変換する事により電界Eが求められ次式によりジュール熱発生量Qが算出される。

$$Q = \sigma E^2 \quad (4)$$

これを用いて伝熱計算を行えば被加熱体各部の温度推移が得られる。図1に示す鋼管の誘導加熱炉を例に数値計算結果を示す。図2は被加熱体の温度計算値と実測値の比較を、図3は厚み方向温度分布推移の計算例を示したものである。

III おわりに

従来行われていなかった誘導加熱現象を理論的に解析出来るようになった。図2に示したように計算精度も十分良好であり、今後共発展してゆく誘導加熱の解析に積極的に応用していきたい。

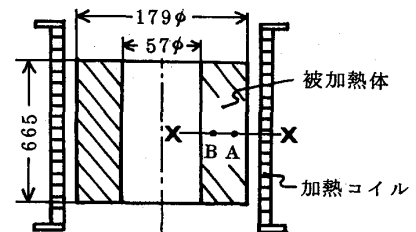


図1 鋼管誘導加熱炉

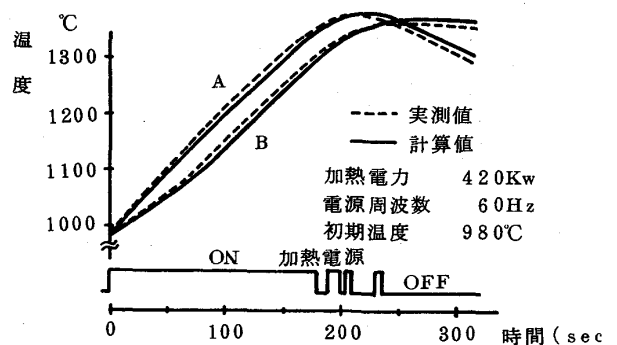


図2 被加熱体の温度計算値・実測値

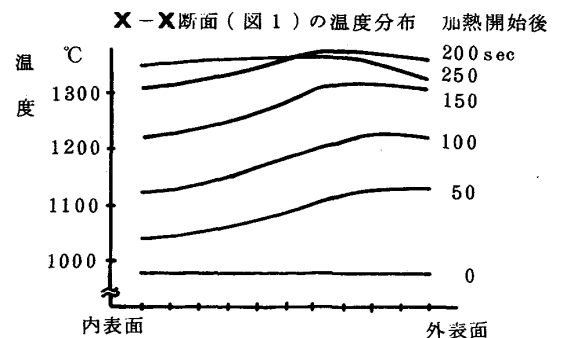


図3 厚み方向温度分布推移計算例