

高効率非磁性薄板誘導加熱(IH)装置の開発 ～加熱コイル構造の最適化による省エネルギー50%の実現～

Development of High-Efficiency Induction Heating (IH)
Device for Thin Nonmagnetic Strip
～Attainment of 50% Energy Saving by Optimization of
Heating Coil Configuration～

若林 久幹* Hisamoto WAKABAYASHI

製鉄プラント事業部
製鉄プラントエンジニアリング第二部 商品技術室
シニアマネジャー

抄 録

非鉄やステンレス等の非磁性薄板の誘導加熱には一般的にトランスバース型加熱コイルが使用されている。このトランスバース型加熱コイルは対向する加熱コア間のギャップを広げると加熱効率が低下するという課題があった。これに対して当社では加熱コア形状の最適化を図ることにより加熱効率を向上させた IH 装置を開発した。本 IH 装置の概要及び開発状況について以下に紹介する。

Abstract

In the induction heating for thin nonmagnetic strip such as nonferrous metal and stainless steel, transverse type heating coil is commonly used. This type coil had a problem that the heating efficiency decreased when the gap between the opposed heating core was extended. We developed IH device that the heating efficiency was improved by optimizing the configuration of heating core thereto. The outline and the development status of this IH device are introduced to below.

1 緒言

近年、誘導加熱は以下の特徴を活かして、特に磁性材を扱う鉄鋼プロセスへの適用が図られている。

- ①急速加熱が可能である
- ②温度制御性及び応答性に優れている
- ③省エネルギー性に優れている
- ④作業環境が良い

適用例としては、溶融亜鉛めっきラインの合金化炉、錫めっきラインのリフロー炉やカラー塗装ラインの乾燥・焼付炉等がある。

一方、非磁性材を扱うステンレス・非鉄プロセス

においては一部アルミ焼鈍炉への適用が見られるが、板幅方向の温度不均一性やコイル間ギャップを広くした場合の効率低下といった課題があり、その適用は限られてきた。そこで当社ではこれらの課題を解決した非磁性薄板用 IH 装置を島田理化工業株式会社と共同で開発した。

本稿では、新たに開発した高効率非磁性薄板 IH 装置の概要及び開発内容について述べる。

2 非磁性薄板 IH 装置の概要

非磁性材の薄板の誘導加熱に対しては、板面に対

して垂直に磁束を発生させるトランスバース型加熱コイルが使用される。従来、本コイルでは薄板エッジ部分に誘導電流が集中するため、加熱コイルの幅より板幅が狭い場合には、図1のようにエッジ部分で過加熱が発生し問題となっていた。

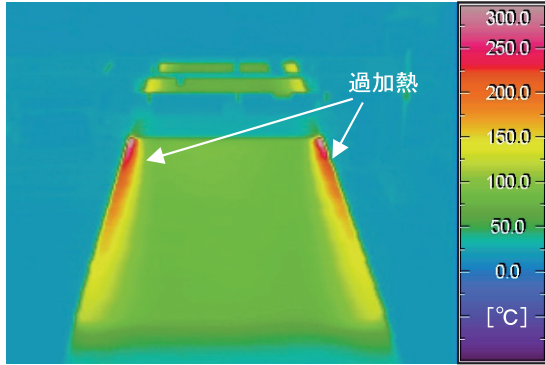


図1 温度分布(従来方式)
Fig. 1 Temperature distribution (Conventional type)

この問題に対し従来一般的には、板幅より狭い加熱コイルを使用し外側を除いた範囲を加熱した後、更に別のコイルを配置し、外側部分を加熱するような方法が採られ、一つの加熱コイルで全体を均一に加熱することは困難で、加熱コイルの構成が複雑であった。近年エッジ部分の磁束密度及び起電力を調整し過加熱を防止するリーケージ磁束リユース方式(以下 LFR : Leakage Flux Reuse)が開発され解決が図られてきた¹⁾。

LFR方式の加熱コイルの構造を図2に示す。LFR方式により、加熱コイル(一次コイル)の一次磁束の一部である薄板の外側を通過する漏洩磁束を有効に利用して、補正コイル(二次コイル)に発生させた逆起電力による電流を薄板両サイドに伝送し、一次磁束と逆方向の二次磁束を発生させ、薄板の両

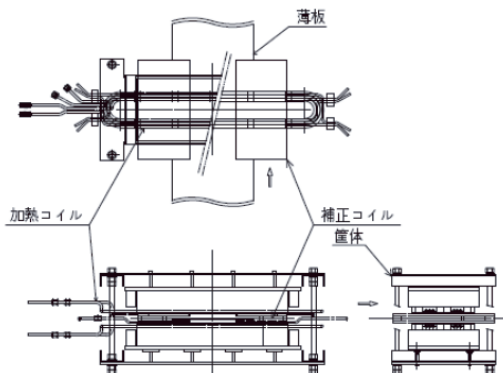


図2 LFR方式加熱コイル構造
Fig. 2 LFR type heating coil

エッジ部の磁束密度を抑えることで温度上昇を緩和し、板幅方向の均一加熱を可能としている。図3にLFR方式による薄板の温度分布を示す。

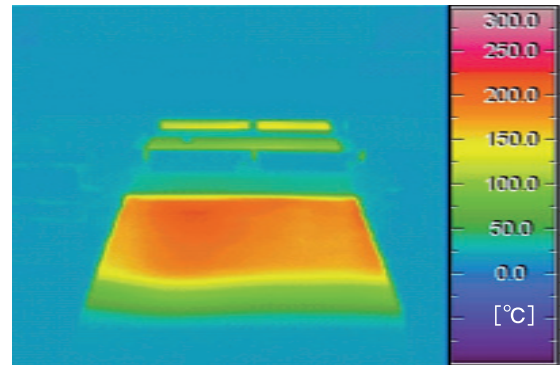


図3 温度分布(LFR方式)
Fig. 3 Temperature distribution (LFR type)

3 高効率 IH 装置の開発

3.1 加熱効率低下の原因推定

図4に示すようにトランスバース型コイルは薄板の上下にE型コアを対向させて設置し、薄板を垂直に通過する磁束を利用して誘導加熱を行っている。

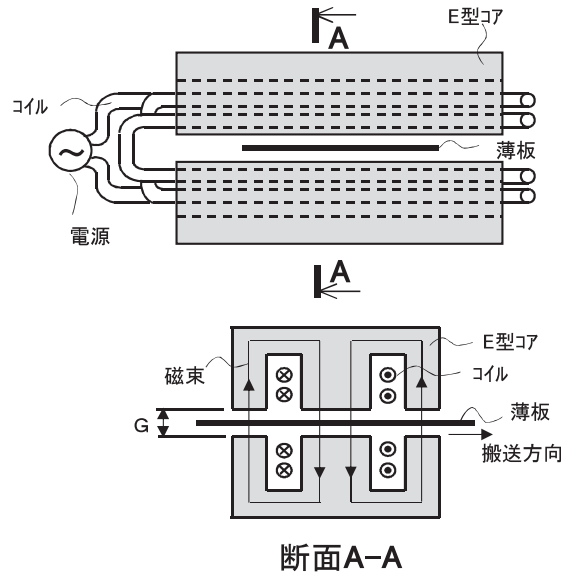


図4 トランスバース型コイル
Fig. 4 Transverse type coil

この方式では、上下E型コア間のギャップGを広くしていくと、加熱効率が次第に低下するという問題がある。

図5に上下コア間のギャップGを広げた場合の磁束を示す。薄板を加熱するには磁束が薄板に垂直に通過する必要があるが、E型コアの凹部の間隔

Wに比較して上下コア間のギャップGが大きい場合、凹部に磁束のショートパスが発生する。このことにより薄板を通過する磁束が減少し、加熱効率が低下する。ショートパスの量はパラメータ W/G と相関関係にある。

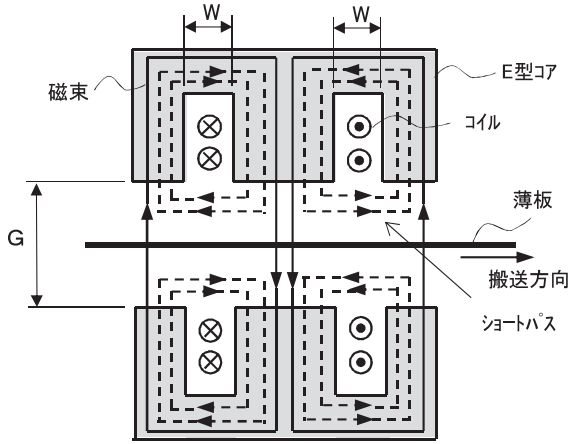


図5 磁束のショートパス
Fig. 5 Short path of magnetic flux

3.2 電磁場解析による対策検討

まず3.1項の原因推定を検証するために電磁場解析による検討を行った。解析ソフトはMSC Marcを使用した。図6に示す解析モデルにてパラメータ W/G による影響を調査した。その時の解析条件を表1に示す。

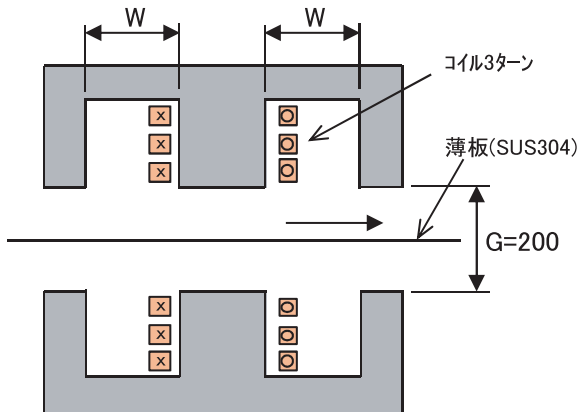


図6 解析モデル
Fig. 6 Analysis model

表1 解析条件
Table 1 Analysis condition

項目	内容
薄板材質	SUS304
コイル電流	125A/本
発振周波数	13kHz
ギャップG	200mm
凹部間隔W	①60mm ②200mm

表2に解析結果を示す。薄板(SUS304)に発生する最大磁束密度を比較評価した。パラメータ W/G を大きくすることにより最大磁束密度が増大する事を確認でき、加熱効率向上の可能性が得られた。

表2 解析結果
Table 2 Analysis result

ケース	W(mm)	W/G	最大磁束密度
①	60	0.3	ベース
②	200	1	約1.7倍

3.3 通板試験による検証

次に通板試験による検証を実施した。加熱コイルはLFR方式を使用した。試験装置の外観を図7に、試験条件を表3に示す。凹部間隔Wが①60mm(従来)と②240mm(新型)の2種類の加熱コイルにて、ギャップGを100mm~200mmまで変化させ加熱効率を検証した。薄板の温度は、表面に黒体塗料を塗布し、加熱コイル出側で赤外線サーモグラフィ装置にて測定した。

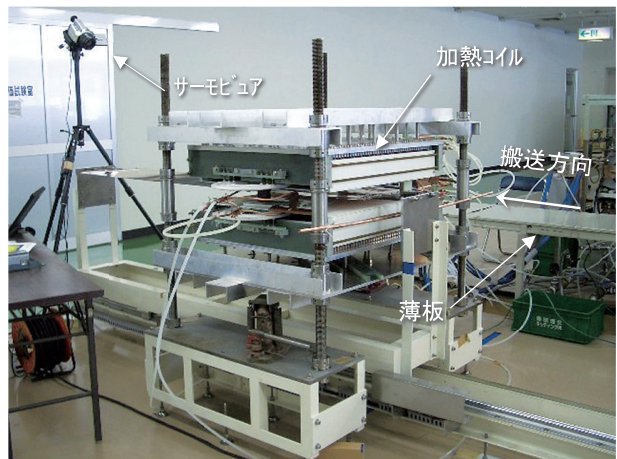


図7 試験装置(写真)
Fig. 7 Test equipment(Photo)

表3 試験条件
Table 3 Test Condition

項目	内容
薄板材質	SUS304
薄板サイズ	厚み0.2mm × 幅480mm
搬送速度	3m/分
加熱温度	500°C
発振周波数	約20kHz
ギャップG	100mm~200mm
凹部間隔W	①60mm ②240mm

図8及び図9に試験結果を示す。加熱効率ηは1式にて算出した。

$$\eta(\%) = Q_s / Q_p \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

ここで、

Q_s : 鋼板への投入熱量

Q_p : 高周波電源への投入電力

図8より、パラメータ W/G を大きくすると、それに伴い加熱効率が向上する傾向が得られた。また、①従来コイル(W=60mm)と②新型コイル(W=240mm)の加熱効率の比較では、例えば G=200 mm において従来コイル(W/G=0.3)では36%であったが、新型コイル(W/G=1.2)では約70%であり、約50%の省エネルギーを達成することができた。

また図9に示すように、500℃加熱において幅方向の温度偏差は約50℃に収まっており、エッジ部の過加熱も発生していないことが確認できた。

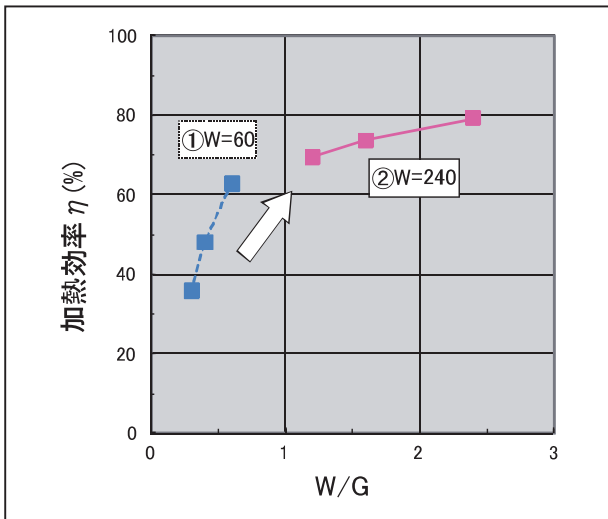


図8 加熱効率
Fig. 8 Heating efficiency

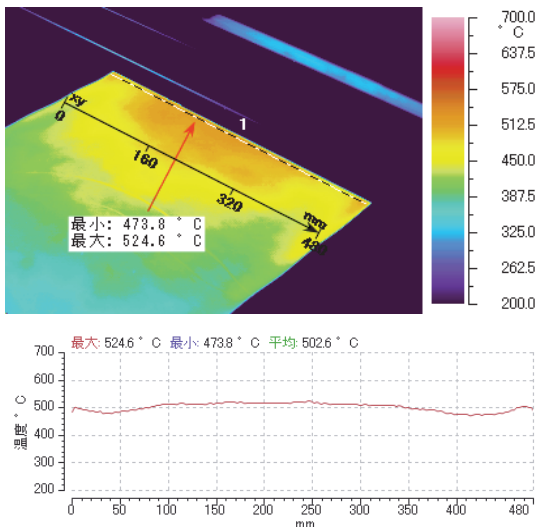


図9 温度分布
Fig. 9 Temperature distribution

4 結言

トランスバース型コイルによる非磁性薄板の誘導加熱において、加熱コア形状の最適化により加熱コイル間のギャップを広くした場合でも加熱効率を低下させずに従来比約50%の省エネルギーを実現し、かつ均一加熱が可能なIH装置を開発した²⁾。この結果、加熱コイルの内側にコイル防熱用の断熱材を設置することができ、高温加熱や雰囲気加熱が必要なステンレス、非鉄用焼鈍炉等への適用も可能となる。

参考文献

- 1) “薄板加熱技術” 島田理化技報 No. 18(2006)
- 2) 特開2010-257894号、発明の名称：金属板の誘導加熱装置