20209 薄鋼板磁気浮上システムにおける永久磁石最適配置の実験的検討

Fundamental Consideration on Optimal Placement of Permanent Magnets
in an Electromagnetic Levitation System for Thin Steel Plate

○学 マトリカ ウプレティ (東海大[院]) 正 押野谷 康雄 (東海大)
正 石橋 一久 (東海大) 正 粕谷 平和 (東海大)

Matrika UPRETY, Tokai University Kitakaname 1117, Hiratsukashi, Kanagawa

Yasuo OSHINOYA, Tokai University

Kazuhisa ISHIBASHI, Tokai University

Hirakazu KASUYA, Tokai University

In the thin steel plates which are used in many industrial products, including automobiles, flaws on the plate surface and peeling during the surface treatment process are induced due to the use of many rollers in the conveyance process. These flaws lead to the deterioration of the quality of the plate surface. To solve this problem, the authors proposed a device for controlled levitation of rectangular sheet plate by means of a hybrid actuator using five electromagnets and thirty permanent magnets. However, it is necessary to consider the optimal placement and number of permanent magnets to decrease the deflection of the steel plate effectively. In this study, we attempt to determine model of attractive force of permanent magnets and number of permanent magnets using the genetic algorithm for a thin steel plate that reduce the deflection and elastic vibration.

Key Words : Steel plate, Permanent magnet, Optimal placement, FDM, Genetic algorithm

1. はじめに

多くの工業製品に広く用いられている薄鋼板は通常ローラで接触搬送されている。しかし、ローラによる接触搬送では傷やめっきの剥離等の不良が発生するために鋼板表面の品質が劣化する場合も少なくない。近年ではその対応策として磁気浮上技術の応用による非接触搬送に関する研究が活発になされている。限られた個数の電磁石では柔軟磁性体ゆえに生じるたわみなどが抑制できない。当研究グループでも長方形薄鋼板の磁気浮上制御に関する考察を行い、Fig.1 に示すように電磁石を設置していない部分の上部にほぼ等分布となるように永久磁石を配置し、これらの磁力を浮上安定化のために有効利用したハイブリッド磁気浮上搬送システムを提案している⁽¹⁾。これまでに、梁モデルを対象とし有限要素法と遺伝的アルゴリズムを用いて両端自由梁の静的たわみを抑制する永久磁石の最適配置探索に関する報告⁽²⁾、永久磁石吸引力の分布が鋼板のたわみ解析に及ぼす影響に関する報告を行っている⁽³⁾。また、長方形薄鋼板を対象に永久磁石吸引力を簡略化したときの永久磁石の個数と配置の最適化の基礎的な検討を行っている⁽⁴⁾。

本報告では永久磁石吸引力を1点集中モデルと5点分布モデルとした際の永久磁石の最適配置を、実際の磁気浮上システムに適応したときの比較検討を行った。

2. 永久磁石の最適配置

2.1 浮上対象

本報告では長さ 800mm、幅 600mm、厚さ 0.3mm の長方形亜鉛めっき鋼板(材質 SS400)を検討対象とする。長方形薄鋼板を Fig.1 のように磁気浮上させ、その際の薄鋼板の静的なたわみをレーザーセンサによって測定する。また鋼板上方には永久磁石(幅 30mm×30mm、厚さ 15mm、表面磁束密度 0.12T)を鋼板表面に対してすべて同極に設置する。

Fig.1 Electromagnetic levitation control system

2.2 永久磁石の最適配置の探索

本報告では、薄鋼板のたわみを最も小さくする永久磁石の個数と配置の探索を行う。永久磁石表面と薄鋼板の距離(以下ギャップ)は Fig.1 の磁気浮上システムに組み込むことを考慮して 35~70mm の間とし、ギャップは 5mm 間隔で変化させる。永久磁石の個数は薄鋼板の磁気浮上の制御性の問題から、永久磁石の吸引力の総和が鋼板重量の 50%以下になるように設定した⁽¹⁾。また長方形薄鋼板に作用する永久磁石吸引力は、永久磁石の吸引力分布を Fig.2 のように厳密に考慮した解析を行うと多くの時間を要するため、Fig.3 のように吸引力分布を1点集中と5点に分布近似したモデルを用い解析を行った。

この探索範囲において永久磁石の個数と配置の最適値の探索を行う。しかし、探索パターンが非常に膨大であるために実験的に最適配置を探索することは現実的に不可能である。そこで本研究では最適化アルゴリズムとして、過去に両端自由梁の最適配置を探索した際にその有効性を確認

Fig.2 Distribution of attractive force of permanent magnet

Fig.3 Model of attractive force

した遺伝的アルゴリズムを用いて最適配置の探索を行う。また、形状を比較するために評価値を設定した。本研究では薄鋼板のたわみの抑制を目的としているため、最適配置探索において評価値 J は次の式を採用した。

$$J = \sum z_i^2 \quad (1)$$

Fig.4 Placement of permanent magnets

(a) Optimal placement
(1 point model)(b) Optimal placement
(5 points model)

Fig.5 Time histories of displacement at center of the plate

ここで z_i は薄鋼板の各解析点のたわみである。鋼板形状の評価には各吸引力モデル、各ギャップにおいて式における評価値 J が最小となる永久磁石の個数と配置を探索した。Fig.4 に最適配置探索の結果、評価値が最小となる永久磁石の配置を示す。このとき、1 点モデルのギャップは 70mm と 5 点モデルのギャップは 60mm であった。

3. 磁気浮上システムへの適用

最適配置探索結果の有効性を検証するために、実際に永久磁石を設置して長方形薄鋼板の磁気浮上実験を行う。そこで Fig.4(a) の 1 点モデルの最適配置と Fig.4(b) の 5 点モデルの最適配置との比較を行った。その際、磁気浮上鋼板に対してすべての浮上用電磁石の制御電圧にランダムノイズを入力し、鋼板中央部の振動を比較した。Fig.5 に鋼板中央部の時間応答波形を示す。図中の縦軸は鋼板平衡浮上位置である浮上用電磁石 5mm 位置からの鋼板の変位を示している。Fig.5(a) の 1 点モデルの最適配置時では Fig.5(b) の 5 点モデルの最適配置時に比べ、変位の標準偏差が大きくなっていることが確認できる。これは薄鋼板の柔軟性により 1 点モデルと 5 点モデルで差が生じたといえる。一方、計算時間などコスト的な面からは 5 点モデルより 1 点モデルの方が有利であることがいえる。

4. まとめ

薄鋼板の浮上補助に永久磁石を用いる磁気浮上システムの基礎的な研究として、永久磁石の吸引力を近似したモデルを用いて解析を行った。

本研究で用いた 0.3mm の板厚の柔軟性を有する鋼板に対象しては永久磁石吸引力モデルとして 5 点モデルが有利であるといえる。しかし、磁気浮上対象の柔軟性に永久磁石のモデル化精度は依存すると考えられる。今の実験条件において薄鋼板の板厚のみが変化した場合どのようなモデル化をするべきかなどを検討し、磁気浮上対象の柔軟性の変化に伴う最適配置の検討をしたいと考えている。

参考文献

- (1) 押野谷, 石橋: 日本機械学会論文集 C 編, Vol.67, No.661, pp.2855-2862, 2001.
- (2) 平林, 土屋, 長谷川, 押野谷, 石橋: 第 29 回日本応用磁気学会学術講演概要集, p.199, 2005.
- (3) 長谷川, 平林, 押野谷, 石橋, 粕谷: 東海大学紀要工学部, Vol.45, No.2, pp.97-101, 2006.
- (4) 平林, 長谷川, 押野谷, 石橋, 粕谷: 第 15 回 MAGDA コンファレンス講演論文集, pp.302-303, 2006.