

めっき厚測定のための渦電流試験と信号解析

Eddy Current Testing and Signal Analysis for Plating Thickness Measurement

職業能力開発総合大学校	小坂 大吾	Daigo KOSAKA	Member
職業能力開発総合大学校	守安 奎裕	Keisuke MORIYASU	Non Member
職業能力開発総合大学校	柿下 和彦	Kazuhiko KAKISHITA	Non Member

Abstract. This paper is motivated by the desire to evaluate thickness of zinc layer on steel in a manufacturing process of zinc plating. We are trying to apply the eddy current testing for measuring thickness of a zinc layer with vibration. This paper shows simulated eddy current within specimens. These results demonstrate the possibility of making thickness measurements using an eddy current with high liftoff.

Keywords: Eddy current testing, Plating, Thickness measurement, Vibration, High liftoff

1. 緒言

連続亜鉛めっき製造工程では鋼板をめっき槽に漬け、その直後にガスワイパーからの空気圧で亜鉛の付着量をコントロールしている。めっき厚はその後にあるめっき厚さゲージで測定され、その結果がガスワイパーの空気圧に反映される。このようなフィードバック制御により、均一なめっき厚さを持つめっき鋼板が製造されている。より均一なめっき厚さを得るためには、ガスワイパーとめっき厚さゲージの距離は短くすることが望ましい。現行の製造工程では蛍光 X 線を用いてめっき厚さを評価している。しかしながら蛍光 X 線装置はガスワイパー付近の鋼板の振動の影響 [1]で、ガスワイパー付近に設置することができず、ガスワイパーから数十 m 下流に設置されている。

蛍光 X 線を用いないめっき厚測定法として渦電流試験を用いた手法が使われている [2-3]。高リフトオフ環境下では信号強度がリフトオフに反比例して減少するため、一般的には、リフトオフが大きくなるほど測定は困難になる。よってこれらの先行研究では、渦電流試験はセンサと試験体の距離を十分に近づけた状態で、めっきの厚さを定量的に評価している。

そこで我々はガスワイパー付近に用いるめっき厚測定センサに渦電流試験の適用を試みた。本研究での目標は、リフトオフ 40mm のとき数十 μm のめっき厚が判別できること、とした。最初に、有限要素法による数値解析を用いて検出原理を示す。次に実験によりめっき厚の異なる試験体の測定結果を示す。これにより提案する手法の有用性を示す。

2. 試験体内部の渦電流分布

励磁コイルが作る試験体の渦電流及び磁界の分布を可視化することは現象の理解につながる。そこで、渦電流が作る磁界と試験体内部の渦電流分布を、磁気ベクトルポテンシャル A と電気スカラーポテンシャル ϕ を変数とする $A\phi$ 法を用いた軸対象周波数応答解析ソフトウェア [4]を用いて可視化した。計算条件を Table 1 に示す。

Table 1 Simulation conditions

Items	Details
Parameters of specimen	Zinc: $\sigma = 1.66 \times 10^7$ S/m, $\mu_r = 1$ Steel: $\sigma = 7.46 \times 10^6$ S/m, $\mu_r = 3600$
Shape of specimens	Plating thickness: 0, 10 or 20 μm Steel thickness: 1mm
Mesh of specimen	Radius direction: 0.5mm Depth direction: 1 μm (from surface to 30 μm)
Excitation force	100turns, 200mA

連絡先: 小坂 大吾、〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1、職業能力開発総合大学校
E-mail: kosaka@uitec.ac.jp

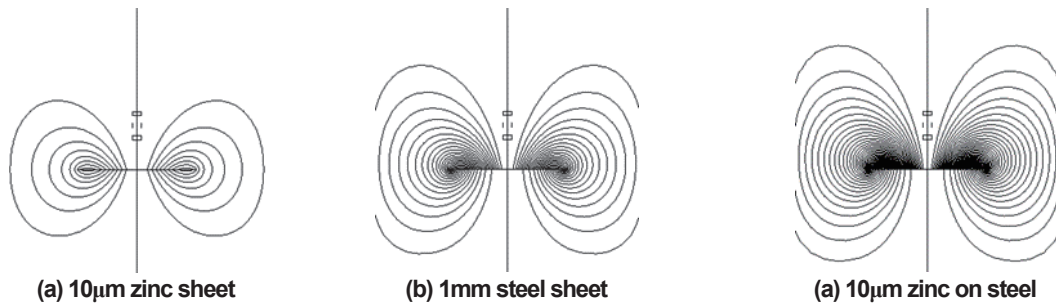


Fig.1 Simulated magnetic flux distributions at 10kHz excitation frequency

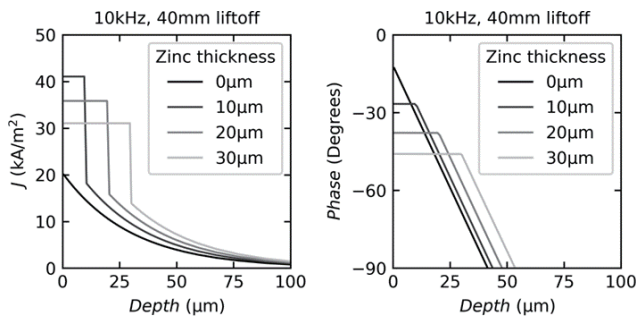


Fig. 2 Simulated distributions of eddy current within specimens at 40mm liftoff

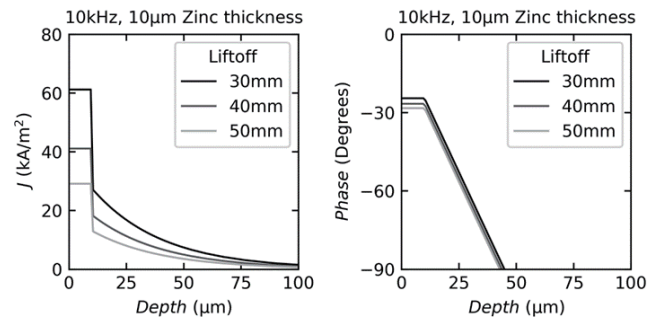


Fig. 3 Simulated distributions of eddy current within specimens at 10μm plating thickness

Fig. 1 は励磁電流を基準に位相が0度の時の磁束線を示している。磁束線の間隔は10nWbとした。Fig. 1(a) は、半径100mm、厚さ10μmの亜鉛シートの中央の高さ40mmの位置に検出コイルの底面があるときの磁束線を示している。試験体表面と裏面の磁束の分布は均等である。これは表面と裏面で渦電流の強さの差、及び位相の差が存在しないことを示している。亜鉛の渦電流の表皮深さは励磁周波数10kHzのときの約1.2mmであるので、Fig. 1(a)は妥当な結果である。Fig. 2(b) は、厚さ1mmの炭素鋼のみの磁束線を示している。試験体裏面より表面に磁束が集中している。炭素鋼の表皮深さは約0.07mmである。裏面まで渦電流が浸透しないため、試験体の表面と裏面で渦電流の強度に差が生じる。よってFig. 1(b)は妥当な結果である。Fig. 1(c) は炭素鋼の表面に10μmの亜鉛が存在する時の磁束線を示している。Fig. 3(b)より試験体表面の磁束線の密度が高い。炭素鋼表面に集中した磁束により、Fig. 1(a)より亜鉛に渦電流が生じていることを示している。Fig. 2はリフトオフを40mm固定とし、亜鉛の厚さを変化させた時の試験体の深さ方向の渦電流分布を示している。亜鉛の厚さごとに渦電流の大きさと位相が大きく変化していることが確認できる。Fig. 3は亜鉛の厚さを10μm固定とし、リフトオフを変化させた時の試験体の深さ方向の渦電流分布を示している。リフトオフは渦電流の大きさに大きな影響を与える一方、位相はめっき厚さほど変化が大きくない。これらの違いは、リ

フトオフとめっき厚さの変化が検出信号に与える影響が異なることを示している。

3. 結言

めっき厚さとリフトオフ変化は試験体内部の渦電流密度に異なる影響を与えることは、検出信号からめっき厚さとリフトオフ信号を分離して評価できる可能性を示している。発表では提案する評価方法と、その手法を実際の試験体に適用した結果について述べる。

参考文献

- [1] 壁矢 和, 石田 匡平, 鈴木 秀和, 石垣 雄亮, 石野 和成, 石井 俊夫, “CGL ワイピング部における電磁石を用いた鋼板の振動および形状制御,” 鉄と鋼, Vol. 99, No. 10, pp. 18-24, 2013.
- [2] E. U. a. J. H. R. J.C. Moulder, “Thickness and conductivity of metallic layers from eddy current measurements,” Review of Scientific Instruments, Vol. 63, No. 6, p. pp. 3455–3465, 1992.
- [3] O. Bruchwald, “Applications of High Frequency Eddy Current Technology for Material Characterization of Thin Coatings,” Journal of Materials Science and Engineering A 6, 7–8, p. pp. 185–191, 2016.
- [4] JSOL Corporation, “JMAG-Designer,” <http://www.jmag-international.com>.