

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3297733号
(P3297733)

(45)発行日 平成14年7月2日(2002.7.2)

(24)登録日 平成14年4月19日(2002.4.19)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

G 0 1 B 7/06

G 0 1 B 7/10

Z

請求項の数1(全 4 頁)

(21)出願番号 特願平11-267586

(22)出願日 平成11年8月18日(1999.8.18)

(65)公開番号 特開2001-56202(P2001-56202A)

(43)公開日 平成13年2月27日(2001.2.27)

審査請求日 平成12年1月12日(2000.1.12)

(73)特許権者 501204525

独立行政法人 海上技術安全研究所
東京都三鷹市新川6丁目38番1号

(72)発明者 成瀬 健

東京都武蔵村山市学園2-36-1 むさ
しの住宅 12-405

(72)発明者 島田 道男

東京都羽村市羽東2-15-20

(72)発明者 吉井 徳治

東京都多摩市唐木田1-52-10

審査官 白石 光男

(56)参考文献 特開 平1-202654 (J P, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B名)

G01B 7/06

J I C S T ファイル (J O I S)

(54)【発明の名称】 電磁誘導を利用した鋼板の厚さ測定方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】鋼板表面に設置した励磁コイルにステップ状の電流を流して、測定物である鋼板をはさんで励磁コイルと反対側に設置した検出コイルで励磁電流に対する鋼板の電磁気応答を計測することにより鋼板を透過した磁束を山型の検出電圧波形として表現して、そのピークが出現する時間の遅れにより鋼板の厚さを測定することを特徴とする厚さ測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】腐食した構造物の鋼板の厚さを測定するための測定原理および測定手段。

【0002】

【従来の技術】腐食した構造物において、鋼板の厚さ測定は超音波厚さ計により行われている。しかし、超音波

2

厚さ計は、測定物との間に十分な接触が要求され、腐食した構造物に適用するためには腐食生成物の除去と測定面平滑化のための前処理(グラインダー作業)が不可欠である。そのため、作業能率が低く、経済的負担も大きい。

【0003】一方、前処理を必要としない厚さ測定方法として、非接触での厚さ測定が可能な電磁誘導を利用する方法(電磁誘導法)が考えられる。しかし、電磁誘導法による厚さ測定の対象は、主として非磁性金属および非導電性被膜であり、磁性材料である鋼には適用されていない。この理由は、磁性材料である鋼において、高周波交流電流を励磁電流に用いる従来の電磁誘導法による厚さ測定方法では表皮効果による厚さ方向の磁束密度の減衰が非常に大きく、鋼板への適用は困難であったと考えられる。

10

【0004】また、従来の電磁誘導法による厚さ測定方法は、コイルのインピーダンスまたは誘導起電圧の大きさの変化を利用して厚さを測定している。しかし、これらの方法では、鋼板とコイルの間隔（リフトオフ）の変化が測定に大きく影響するため、表面の付着物または凹凸によりリフトオフを一定に保つことができない腐食鋼板への適用は難しいと考えられる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、腐食した構造物の鋼板に適した厚さ測定方法の確立を目的としており、以下の課題を解決しようとするものである。

（１）非接触で厚さ 2 0 mm 程度までの鋼板の厚さを測定できるようにする。

（２）腐食鋼板への適用を可能にするため、リフトオフの変化および鋼板表面の凹凸に影響されない測定方法にする。

【0006】

【課題を解決するための手段、実施の形態】本発明の測定原理は、計測部（１）で発生させたステップ状の電流を励磁コイル（３）に流し、測定物である鋼板（５）をはさんで励磁コイル（３）と反対側に位置する検出コイル（４）により、ステップ状の励磁電流に対する鋼板の電磁気応答（検出コイルの電圧）を計測部（１）で測定して、その波形から得られた情報を鋼板の厚さに変換するものである（図 1 参照）。

【0007】ステップ状の励磁電流（６）を励磁コイル（３）に流した場合に検出コイル（４）から得られる電 *

$$H_{x_1}(t) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x_1 \sqrt{\sigma \mu}}{2\sqrt{t}}} \exp(-z^2) dz \quad (3)$$

のように表される。 $H_{x_1}(t)$ が、本測定方法において、 $x = 0$ に単位ステップ磁界が与えられた際に厚さ x_1 の鋼板を透過して検出コイル側に発生する磁界の強さ

$$V_{x_1}(t) = -N \frac{d\phi}{dt} = -\mu_0 N A \frac{dH_{x_1}}{dt} \quad (4)$$

と表される。ここで、 ϕ は磁束、 N および A はそれぞれ検出コイルの巻数および断面積、 μ_0 は空気の透磁率で

$$V_{x_1}(t) = -\mu_0 N A \frac{\sqrt{\sigma \mu}}{2\sqrt{\pi}} x_1 t^{-\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{\sigma \mu x_1^2}{4t}\right) \quad (5)$$

を得る。 $V_{x_1}(t)$ の絶対値は、以下に示す時刻 t_d （式（６））において最大値をとることから、 t_d が第二ピークの遅れ時間に対応すると考えられる。

$$t_d = \frac{\sigma \mu}{6} x_1^2 \quad (6)$$

$$x_1 = C \left(\frac{t_d}{\mu} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \left(C = \left(\frac{6}{\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (7)$$

* 圧の波形（７）の例を図 2 に示す。検出コイルの電圧波形（７）には二つのピークが存在し、そのうち、はじめに現れる急峻なピークが鋼板の外側を回り込んだ磁束によるピーク（８）であり、その後現れる緩やかなピークが鋼板を透過した磁束によるピーク（９）であることが実験から確認されている。ステップ励磁電流の立ち上がりから鋼板を透過した磁束によるピーク（９）が現れるまでの時間を「遅れ時間（１０）」と定義して、遅れ時間と鋼板の厚さの関係をあらわす関係式から鋼板の厚さを求める。

【0008】遅れ時間と鋼板の厚さの関係式は以下のよう求めた。鋼の半無限体（ $x > 0$ ）において、 x 方向に一樣に磁界が作用する場合を考える。導体（この場合は鋼）では、Maxwell の方程式は磁界 H について

$$\nabla^2 H - \sigma \mu \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

のように表現できる。ここで σ および μ はそれぞれ鋼の導電率および透磁率である。一次元の場合、式（１）は

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \sigma \mu \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

のように表される。ここで境界条件を $x \rightarrow \infty$ のとき $H(x, t)$ は有界であるとし、初期条件を $H(x, 0) = 0$ とし $x = 0$ に単位ステップ磁界が与えられた場合の位置 $x = x_1$ における磁界の強さ $H_{x_1}(t)$ を式（２）から求めると、

と仮定する。

【0009】一方、 $x = x_1$ における検出コイル電圧は

ある。そこで、式（３）を式（４）に代入すると

式（６）を変形すれば、鋼板の厚さ x_1 は、以下のよう C を定数と考えて、遅れ時間 t_d と鋼板の透磁率 μ により以下のように表すことができる。

したがって、厚さが既知の部分において遅れ時間の測定値と厚さから $C / (\mu)^{1/2}$ を求めておけば、式(7)を用いて、他の部分の厚さを遅れ時間の測定値から求めることができる。

【0010】

【実施例】実施例として、立ち上がり時間 1 ms、振幅 1.5 A のステップ励磁電流を励磁コイル（内径 48 mm、巻数 200）に流して、厚さの異なる鋼板（ $s \leq 400$ 、厚さ $t = 5.6 \sim 21.8$ mm）の電磁気応答を、鋼板をはさんで励磁コイルと反対側に設置した検出コイル（内径 40 mm、巻数 200）により検出して測定した実験結果を示す。図3は、実験から得られた、厚さの異なる鋼板の検出コイル電圧波形であり、鋼板の厚さが増加するにしたがって遅れ時間が増加することが確認される。この結果を、遅れ時間と鋼板の厚さの関係式（式(7)）により整理したものが図4であり、厚さ 21.8 mm の鋼板まで本実験条件で測定が可能であることが示されている。

【0011】また、このとき、励磁・検出両コイルのリフトオフを 5 mm から 20 mm まで変化させて同様の測定を行った結果、遅れ時間にリフトオフの影響は見られなかった。さらに、平均厚さ 9 mm の鋼板に高さ 4 mm、角度 120° の凹凸を互いに 90° 方向となるように機械加工を施した鋼板を用いて遅れ時間への影響を調査したところ、その影響は 1.1% 程度の変化と小さかった。

【0012】以上の結果から、本発明により、厚さ 20 mm までの鋼板の厚さ測定が可能で、リフトオフの変化および鋼板表面の凹凸に影響されにくい電磁誘導を利用 *

* した厚さ測定が可能となった。

【0013】

【発明の効果】本発明は、鋼板をはさむように励磁・検出両コイルを設置する必要があることから超音波厚さ計に比べて適用箇所が限定されるものの、超音波厚さ計で必要であった前処理が不要であるため、測定作業の効率化、費用の削減を図る上で大きな利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】測定方法の概要および配置を示す図である。

【符号の説明】

- 1 計測部（励磁電流発生及び検出コイル電圧計測用装置）
- 2 ケーブル
- 3 励磁コイル
- 4 検出コイル
- 5 鋼板

【図2】ステップ状の励磁電流を励磁コイルに流した場合に検出コイルから得られる電圧の波形の例を示した図である。

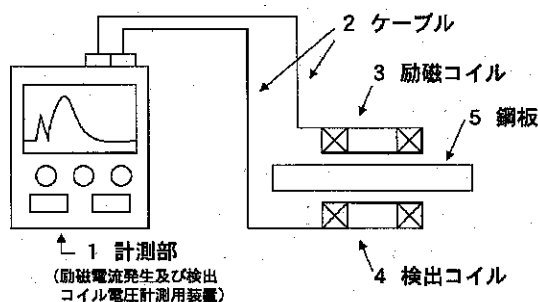
【符号の説明】

- 6 ステップ励磁電流波形
- 7 検出コイル電圧波形
- 8 鋼板を回り込んだ磁束によるピーク
- 9 鋼板を透過した磁束によるピーク
- 10 遅れ時間

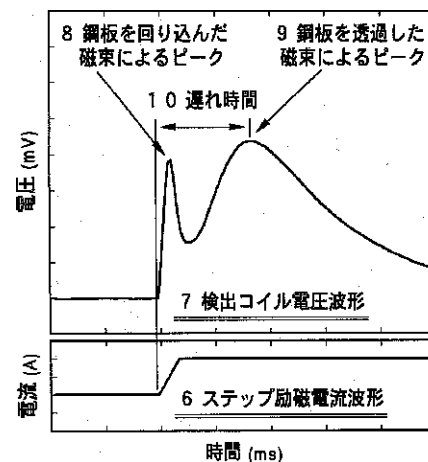
【図3】実験から得られた厚さの異なる鋼板の検出コイル電圧波形を示す図である。

【図4】（遅れ時間 / 鋼板の透磁率） $^{1/2}$ と鋼板の厚さの関係を示す図である。

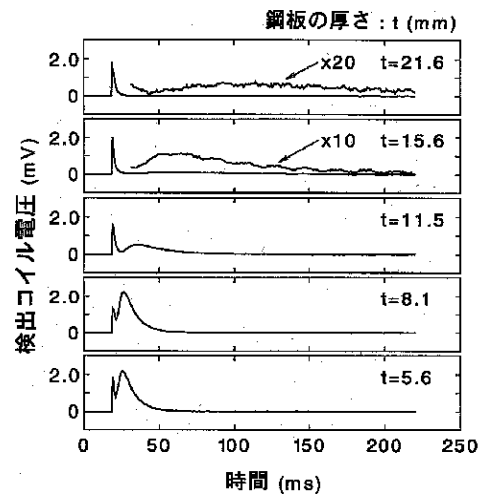
【図1】



【図2】



【図 3】



【図 4】

