

鉄鋼材料の渦電流探傷試験に関する研究

日大生産工 (院) ○田中 雄基
日大生産工 星川 洋、小山 潔

1. はじめに

鉄鋼材料は、高品質の材料製造が求められており、その製造工程における検査には、数々の非破壊試験法が採用される。その中の表面検査においては非破壊試験法の1つである電磁誘導を利用した渦電流探傷試験が適用される。鉄鋼材料は、試験体の表面状態の変化があったり圧延工程での試験体の振動したりするので、試験体とコイルとの相対距離（リフトオフ）が変化する。従来の渦電流探傷プローブである上置コイルでは、きずによってだけでなくリフトオフによっても出力が大きく変化する。よってリフトオフ変化が雑音の大きな原因となる。 Θ プローブ¹⁾は、励磁コイルが試験体に誘導した渦電流それ自体の変化を検出するのではなく、きずによって流れが変わった渦電流の検出コイル方向成分を検出するため原理的にリフトオフ雑音を生じない。また、鉄鋼材料では電磁気特性のばらつきによっても渦電流は変化するが、上置コイルはこの変化をそのまま雑音として拾ってしまうのに対し、 Θ プローブは一方向の渦電流成分のみを検出するため雑音が小さくなることが期待される。

鉄鋼材料は高品質の材料製造が求められており、このためにはできるだけ小さいきずを検査によって見つけることが不可欠である。雑音を小さくすることによってSN比を高くすれば小さいきずでも検出が可能になる。そこで、雑音の影響を受けにくい Θ プローブを使用することによってSN比の向上を目指す。ここでは従来の上置コイルと、雑音の小さな Θ プローブの2種類を使い、鉄鋼材料に対する渦電流探傷結果を比較しこれを報告する。

2. 渦電流探傷試験

従来の上置コイルは、円形のコイル1つから構成される。試験体表面にきずがないとき、渦電流は図1(a)のように試験体表面に円形に流れる。しかし、試験体表面にきずがある場合は、渦電流はきずをよけて流れる性質があるため図1(b)のように乱れて流れる。この渦電流の乱れをコイル起電力の変化、すなわちインピーダンス変化として検出し、信号が発生する。しかし、試験体の表面状態や圧延工程での試験体の振動によりリフトオフが変化した場合でも、従来の上置コイルではインピーダンスが変化して雑音が生じてしまう。また、鉄鋼材料では電磁気特性が一様ではない場合があるので渦電流に乱れが出ることがある。これによってもインピーダンスが変化し雑音を生じてしまう。

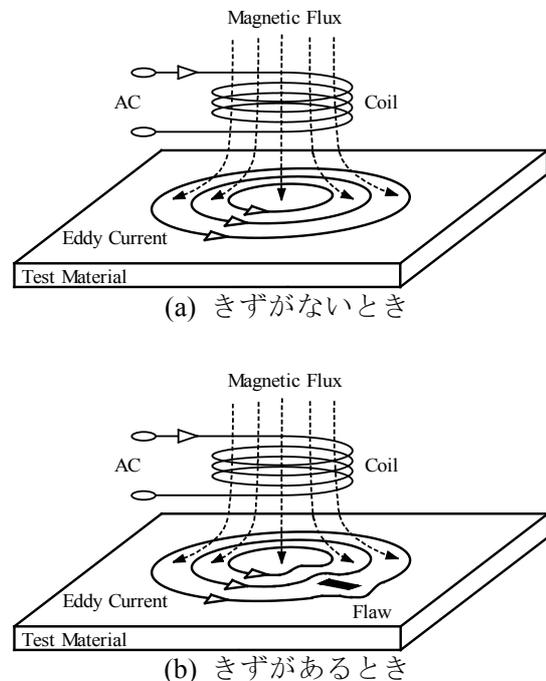


図1 上置コイルの渦電流の流れ

3. Θ プローブの探傷原理

Θ プローブは、従来の上置コイルと同様の形状である円形励磁コイルと矩形縦置きを検出コイルを組み合わせた図2のような構造である。 Θ プローブの励磁コイルは上置コイルと同じ形なので、試験体表面に誘導される渦電流は上置コイルと同様となる。しかし、上置コイルは1つのコイルで励磁、検出を行うのに対し、 Θ プローブはもう一つの検出コイルで検出を行う。試験体表面にきずがない場合、渦電流の流れは図3(a)のようになる。検出コイルはそれ自身と平行な渦電流成分を起電力として検出する。よって、リフトオフが変化しても渦電流の流れは図3(b)のようになり、図3(a)と(b)ともに信号が発生しない。試験体表面にきずがある場合、渦電流の流れは図4のようになる。右側のグラフは出力信号で、横軸が実数成分、縦軸が虚数成分を表している。検出コイルがきずの真上にあるとき、きずをよけて流れる渦電流は両側で逆向きなので相殺して零となる。きずが検出コイルに対して図の紙面の上方と下方に位置した場合、検出コイル直下の渦電流は互いに逆向きなので、検出コイルの起電力は逆極性に発生する。 Θ プローブはその構造上、原理的にリフトオフ雑音を発生せず、また試験体の表面状態や電磁気特性の変化による雑音も、1方向の渦電流成分を検出するため比較的小さい。

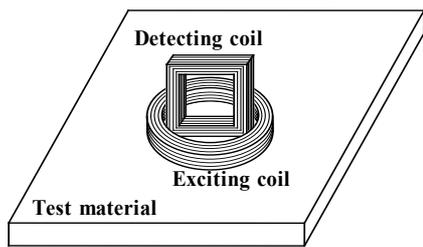
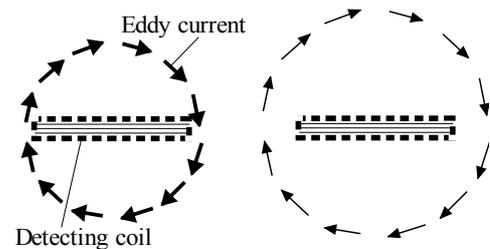


図2 Θ プローブの構造



(a) リフトオフが小さいとき (b) リフトオフが大きいとき

図3 試験体にきずがないときの渦電流

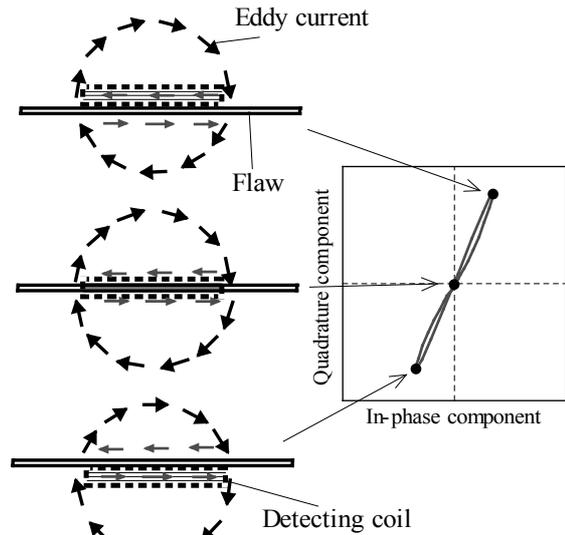


図4 試験体にきずがあるときの渦電流と信号

4. 実験方法

上置コイルのコイル寸法は外径9mm、巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ 、 Θ プローブのコイル寸法は、励磁コイルは上置コイルと同じ、検出コイルは長さ7mm、高さ9mm、巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ である。試験周波数は200kHz、リフトオフは2mmとした。試験体は厚さ15mmのSM鋼材で、これに放電加工により長さ15mm、幅0.2mm、深さ1.5、1.0、0.5、0.25mmのきずをつけた。走査方向は図5示したとおり、スリット状のきずに対して 90° にプローブを走査した。 Θ プローブは検出コイルが走査方向に対して 90° になるよう配置する。

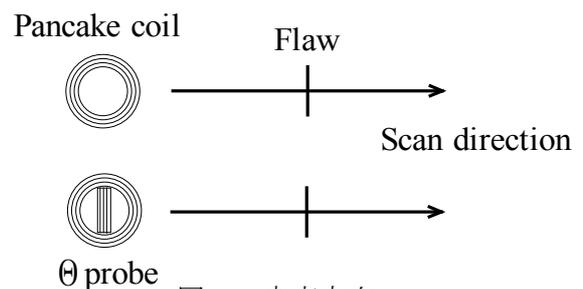
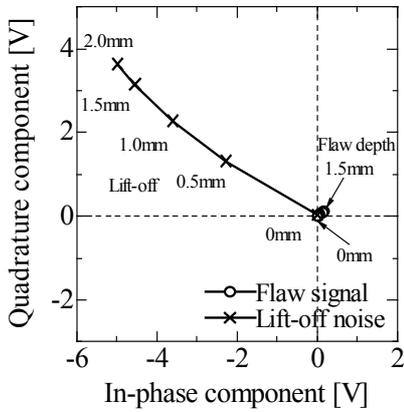


図5 走査方向

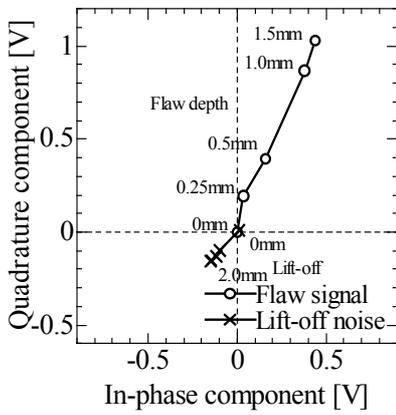
5. 実験結果

まず、従来の上置コイルと Θ プローブのリフトオフ雑音を測定した。図6はリフトオフを0~2mmと変化させたときの雑音と、リフトオフ一定できず深さを0.25mm~1.5mmと変化させたときの信号である。図6(a)は上置コイルを用いた場合で、リフトオフによる雑音がきずによる信号を大きく上回っているのがわかる。それに対し、図6(b)に示した Θ プ

ローブの場合はリフトオフが大きくなっても雑音はほとんど変化せず、リフトオフ 2mm になってもきず信号のほうが大きい。



(a) 上置コイル

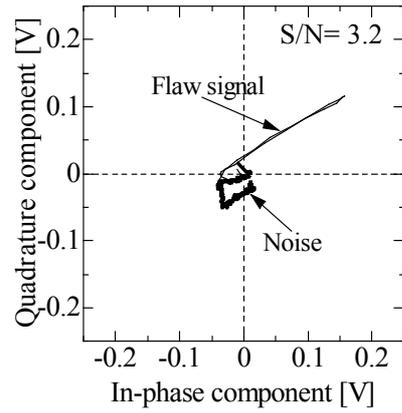


(b) Θ プローブ

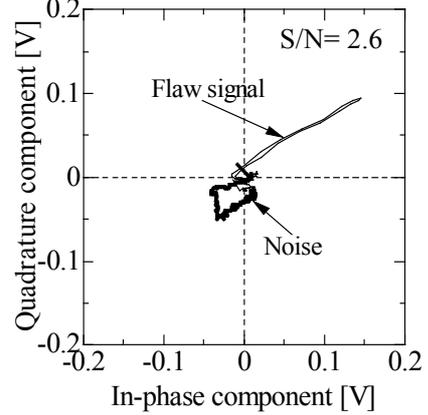
図6 リフトオフによる雑音ときず信号

図7に上置コイルの出力信号を示す。きず深さの値が大きいときず信号の振幅も大きいですが、きずが浅くなるにつれて徐々にきず信号の振幅も小さくなる。言い換えるときず深さが浅くなっても雑音の大きさは変わらないため、相対的に雑音が大きくなる。また、きず信号と雑音の振幅をそれぞれ S 、 N とし、 SN 比を計算した結果をそれぞれのグラフ右上部に書き添えた。

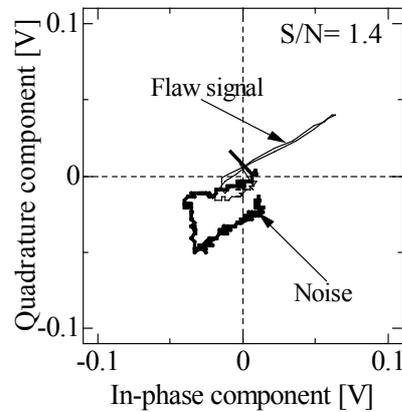
図8に Θ プローブの出力信号を示す。こちらもきずが浅くなるにつれて徐々にきず信号の振幅も小さくなるのだが、先程の上置コイルに比べるときず信号がはっきりしていて、 SN 比を見ても格段に高いことが確認できる。この理由として、 Θ プローブが上置コイルに比べて雑音が小さいことが挙げられる。



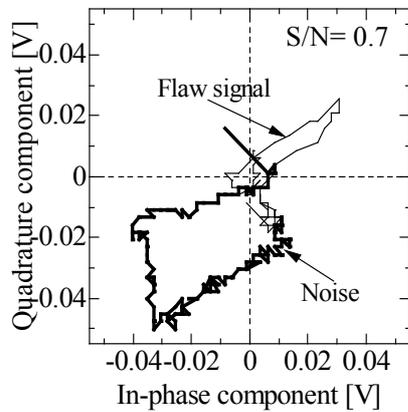
(a) きず深さ 1.5mm のとき



(b) きず深さ 1.0mm のとき

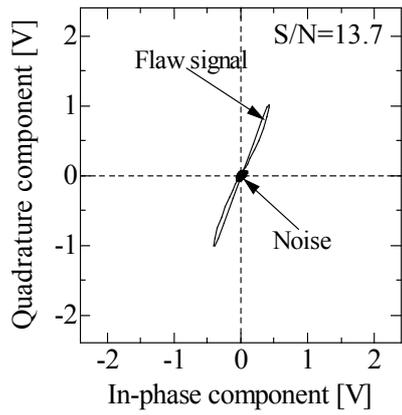


(c) きず深さ 0.5mm のとき

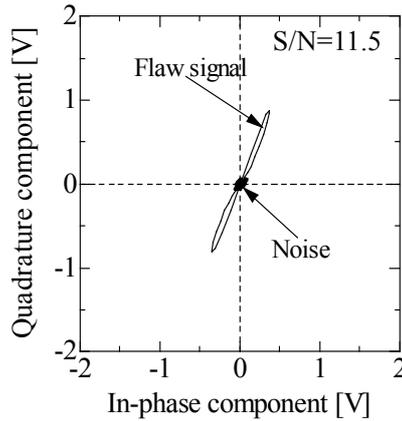


(d) きず深さ 0.25mm のとき

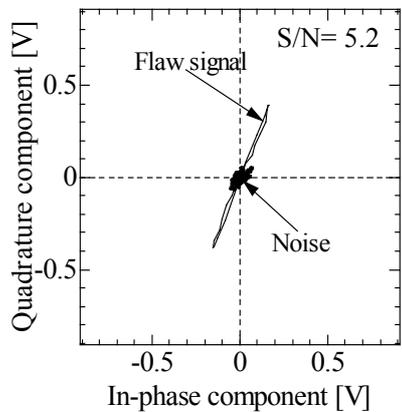
図7 上置コイルの出力信号



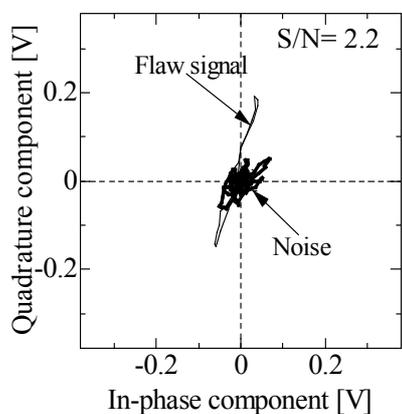
(a) きず深さ 1.5mm のとき



(b) きず深さ 1.0mm のとき



(c) きず深さ 0.5mm のとき



(d) きず深さ 0.25mm のとき

図8 Θプローブ出力信号

これらのデータをもとにしたきず深さごとの SN 比を図9に示す。Θプローブの SN 比は、上置コイルのそれに比べて非常に高い。この図で SN 比 2 のところに破線が引いてあるのは、きずと雑音を判別する際、SN 比 2 以上が有効である、と考えられるためである。高い 2 以上の SN 比を獲得できたのは、上置コイルではきず深さ 1.0mm 以上、Θプローブでは 0.25mm 以上という結果になった。

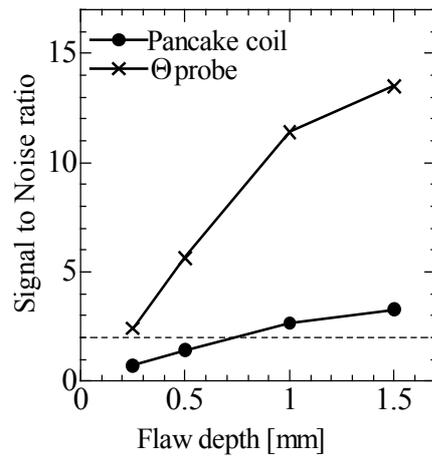


図9 きず深さごとの SN 比

6. まとめ

従来の上置コイルと、雑音の小さなΘプローブを使い、鉄鋼材料に対する渦電流探傷実験を行った。Θプローブを使ったことにより雑音を軽減でき、高い SN 比を獲得し、上置コイルでは 1.0mm 以上の深さのきずしか検出できなかったところを 0.25mm の深さのきずまで検出することができた。このことから鉄鋼材料の渦電流探傷においてΘプローブは従来の上置コイルに比べ有効であると言える。

参考文献

- 1) 星川洋、小山潔、柄澤英之:「リフトオフ雑音が発生しない渦流探傷用新型上置プローブに関する研究」、非破壊検査、第 50 巻 11 号、pp.736-742 (2001)