

プロジェクト1

渦流探傷及び電磁誘導式電位差法による亀裂の推定

星川 洋、小山 潔（電気電子工学科）

1. はじめに

ヘルスマニタリングのための非破壊試験技術の確立を目的として、導電性試験体の表面及び表層部のキズ検出法である渦流探傷試験における、雑音小さくキズ検出性能の高い新しい渦流探傷プローブ（プラスプローブと称す）の開発研究を行った、その研究経過を報告する。

従来の渦流探傷は、試験体に誘導される渦電流を検出する方法であり、キズによる渦電流の変化を検出して探傷すると考えられてきた。プローブと試験体との相対距離（以下、リフトオフ）が変われば渦電流は大きく変化するため、上記の考え方に基づく渦流探傷プローブでは大きな雑音が発生することになる。試験体の表面上を滑らせるようにプローブを走査探傷するに際して、リフトオフを一定に保つことは実際上不可能であり、従来の渦流探傷プローブでは、プローブと試験体との相対距離の変化による雑音（以下、リフトオフ雑音）の発生は不可避であった。このリフトオフ雑音のために、キズの評価に信号位相を利用することができないという問題があった。このようにリフトオフ雑音は渦流探傷の信頼性を損なう大きな原因の一つになっている。

筆者らは、リフトオフ雑音が発生しない渦流探傷プローブを実現するために、次のような方法を考えた。交流を流した励磁コイルによって試験体に誘導される渦電流を直接検出するのではなく、キズによって新たに発生する渦電流成分だけを検出するプローブを実現すれば、リフトオフ雑音が発生しない状態で探傷できる。

この考え方に基づいて、円形の励磁コイルと矩形縦置きを検出コイルを組合せた渦流探傷プローブ¹⁾を考案し、平成13年度に報告した。多様な試験体に渦流探傷試験を適用するためには、多様な渦流探傷プローブの開発が必要である。そこで、さらに新たな渦流探傷プローブ（プラスプローブ）を開発したので報告する。

2. リフトオフ雑音の小さいプラスプローブ

Figure 1に新たに開発したリフトオフ雑音の小さなプラスプローブの構成図を示す。プラスプローブは矩形縦置きの励磁コイルと、その両側に垂直に配置した矩形縦置きの2つの検出コイルから構成される。縦置きの励磁コイルは、巻線に平行な渦電流成分を誘導し、信号を足すように接続された2つの矩形縦置きの検出コイルは巻線に平行な渦電流成分を検出して信号を発生する。

Figure 2はプラスプローブによって試験体表面に誘導される渦電流を示す原理図である。図(a)に示すように、試験体にキズが無いときには渦電流は検出コイルに対して垂直方向に誘導されないため、検出コイルには信号が発生しない。リフトオフが変化した場合でも、渦電流の振幅は大きく変化するが、流れる方向が変わらない限りにおいては検出コイルに信号が発生することはないから、リフトオフ雑音は発生しない。図(b)に示すように、検出コイルに平行なキズがある場合には、渦電流の一部が検出コイルと平行に流れるから、検出コイルには信

号が発生する。以上のように、原理的にプラスプローブはリフトオフ雑音が発生せず、キズ信号だけを発生する。また、キズが無いときには

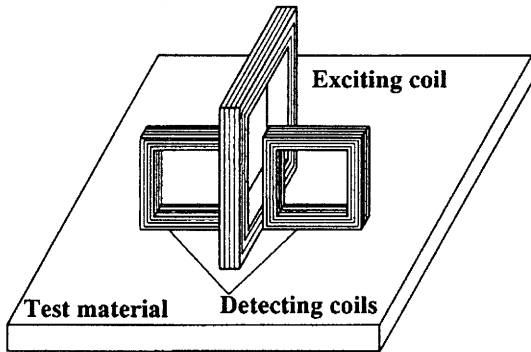
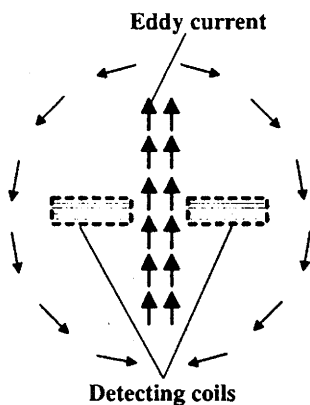
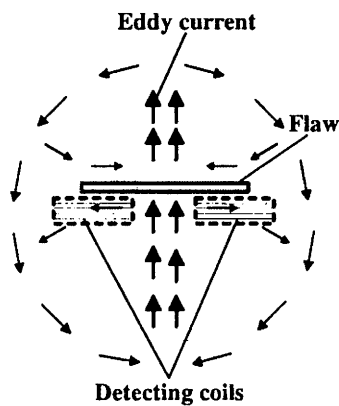


図1 プラスプローブの構造



(a) 試験体にキズがないとき



(b) 試験体にキズがあるとき

図2 プラスプローブによって試験体表面に誘導される渦電流の模式図

信号が発生しないから、通常の渦流探傷に必要なブリッジの平衡操作が不要である。

図(b)において、キズの上下で渦電流の流れる方向が逆になるので、プラスプローブで走査探傷すると、キズ信号はキズの上下で極性の異なる信号が発生し、8字パターンを描くことが分かる。以上のように、リフトオフ雑音が小さく、8字の安定したキズ信号パターンが得られれば、信号の位相からキズの深さを推定できるものと期待できる。

3. 実験条件

プラスプローブの励磁コイルの大きさは $19 \times 19\text{mm}^2$ で、巻線断面積は $2 \times 2\text{mm}^2$ である。検出コイルの大きさは、 $7 \times 9\text{mm}^2$ で、巻線断面積は $1 \times 1\text{mm}^2$ である。試験体は厚さ 1.5mm の黄銅板とし、その中央に放電加工によって種々の深さと長さのスリットキズを加工した。試験周波数は、試験体の厚さ t と標準浸透深さ δ の比 t/δ が 1.5 となる 20kHz とした。

4. 実験結果

Figure 3 には長さ 5mm で深さ 80% の表面スリットキズに対して試験体表面を2次元に走査探傷したときの励磁コイルの電流と同相の信号を示す。雑音が小さく、キズ信号が非常に安定しており、単純な信号であり、キズの評価が容易となることが期待できる。

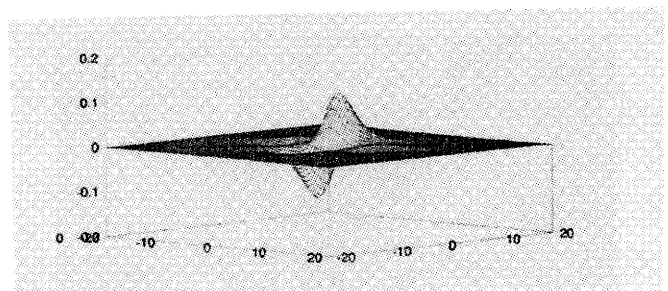


図3 長さ 5mm で深さ 80% の表面スリットキズの探傷信号

Figure 4 は、プローブと試験体の間に薄い絶縁膜を挿入してリフトオフを変化させたときのリフトオフ雑音と深さの異なるキズによる信号を示す。図から、キズ信号はリフトオフ雑音に比べて十分大きいことが分かる。

Figure 5 はプローブの走査面側および裏面側で深さの異なるキズについて、探傷して得られたキズ信号パターンを示す。図(a)から表面キズの場合には、キズの深さが増すと信号パターンの傾き角度である信号位相が進み、一方、図(b)から裏面キズの場合には、キズ深さが増すと信号位相が遅れることが分かる。また、図からキズ信号パターンがリフトオフ変化の影響を受けることなく安定しているので、キズの評価に信号位相を利用できる可能性を示唆している。

Figure 6 はキズ深さが同じで、長さが異なる場合について得られたキズ信号パターンを示す。図から、キズ信号の位相はキズの長さによって大きくは変わらないことが分かる。また、信号の振幅もキズ長さによって大きく変化しないことが分かる。

キズの幅の変化および検出コイルに対するキズの変化によっても、信号の位相は大きく変わらないことが実験を通して確認されている。

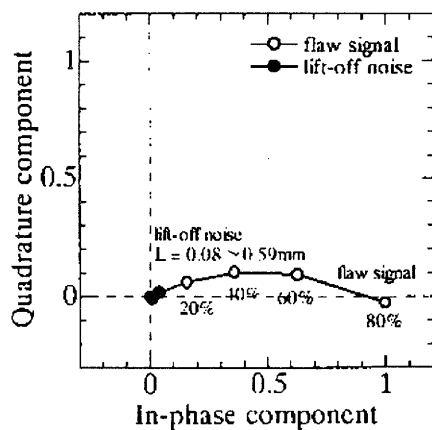
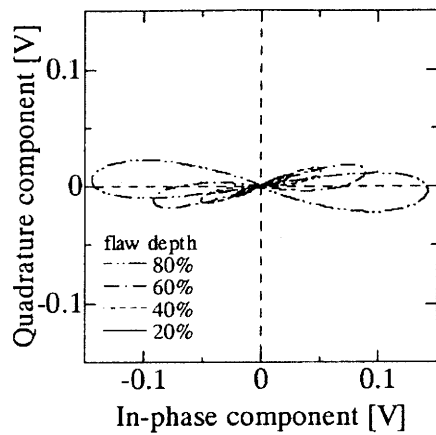
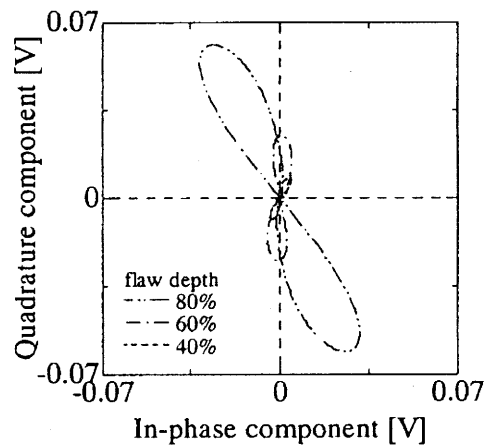


図4 キズ信号とリフトオフ雑音



(a) 表面のキズ



(b) 裏面のキズ

図5 キズ深さが異なるときのキズ信号パターン

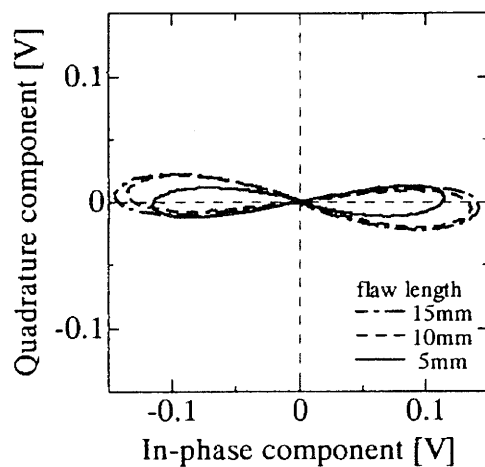


図6 キズ長さが変わった場合のキズ信号パターン

Figure 7は深さ80%のキズについて、リフトオフを変化させたときの信号パターンの変化を示す。リフトオフによって信号の振幅は大きく変化するが、位相は大きくは変化しないことが分かる。

以上の実験結果から、キズ深さは信号の振幅ではなく、位相に基づいて評価できることがわかった。そこで、黄銅板について、信号の位相に基づいてキズ深さを評価する曲線をFigure 8に示すように作成した。図には、平成13年度報告した⊙プローブについても描いた。同図の曲線を用いれば、キズの長さや幅およびリフトオフ変化による影響を受けることなく、キズ深さの評価が可能である。

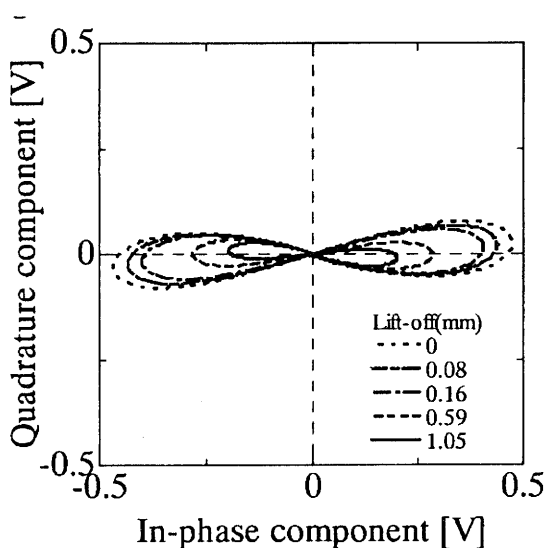


図7 リフトオフが変わったときのキズ信号パターン

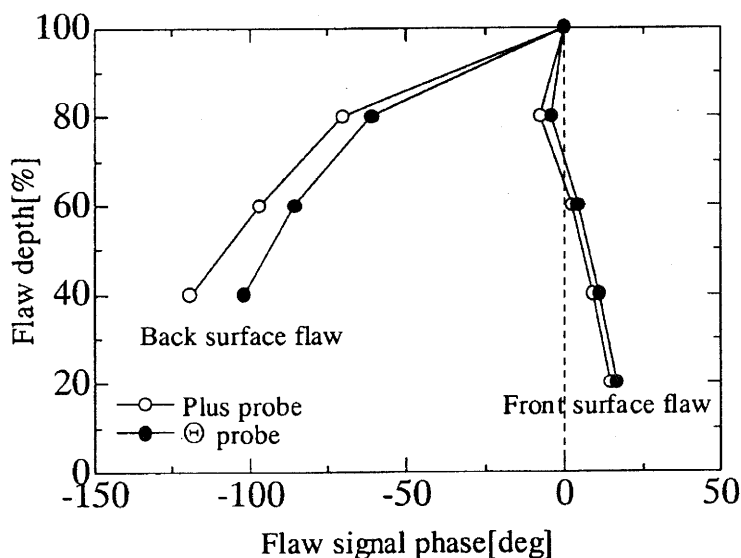


図8 信号の位相に基づくキズ深さを評価するための曲線

術の確立の一環として、キズ検出性能の高い渦流探傷プローブ（プラスプローブ）の開発研究を行った。原理的にリフトオフ雑音が発生しないので、信号の位相に基づいてキズの深さの評価が可能で、プラスプローブについて報告した。プラスプローブは、リフトオフ変化の影響が小さく、短いキズの探傷にも適していることを確認した。このようなリフトオフ雑音の小さいプローブが渦流探傷の信頼性の向上に役立ち、渦流探傷が従来困難と考えられていた溶接部の検査などにも適用されるようになることを期待する。

参考文献

- 1) 星川、小山、柄澤：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、50巻11号、pp736-742 (2001)

5. まとめ

ヘルスマニタリングのための非破壊試験技