

検出コイルをマルチ化した渦電流 プロープに関する研究

日大生産工(院) 小松 慶亮
日大生産工 小山 潔 星川 洋

1. はじめに

生産ラインにおける金属製品の表面きず検査では流れてくる製品に対し、ラインで確実なきず検出ときず深さの判別が求められている。その検査に試験体に非接触、かつ高速度で探傷可能という渦電流探傷試験を適用することにより、ラインの速度に合わせた検査が期待できる。

非磁性体材料を信頼性高く検査するために従来から用いられている上置プローブでは試験体とプローブの相対距離(以下、リフトオフ)が変化すると、雑音が大きくなる。このためラインで振動が起これると、雑音が大きくなり、信頼性高い検査が困難となる。

それに対し、リフトオフの影響の小さいプローブを用いて探傷を行うことで信頼性高い検査が行えることがすでに報告されている¹⁾。そしてライン速度に合わせて検査をするためには、プローブを複数個配置するマルチ化プローブが提案されている²⁾。今回、筆者らはプローブの検出コイルをマルチ化した、マルチ化検出コイルプローブの基礎的なきず検出特性について検討を行った。

2. 矩形プローブの探傷原理

図1に矩形プローブの構造を示す。矩形プローブは矩形に巻かれた横置ききの励磁コイルと、矩形に巻かれた縦置ききの検出コイルから構成されている。このプローブの検出コイルは検出コイルの巻線方向と同方向に流れる渦電流を検出する。矩形プローブの励磁コイルに電流を流すと試験体表面には図2(a)に示すように、励磁コイルの巻線方向と同方向の渦電流が誘導される。この時、検出コイルの巻線方向と同方向には渦電流が流れないためなきず信号は発生しない。きずがある場合、きずに対して平行にプローブを走査すると、誘導された渦電流はきずを避けたり、潜り込んだりする。そのきずを避けて流れる渦電流成分は図2(b)に示すように検出コイル方向に流れるので、きず信号が発生する。しかし、図3に示すように

検出コイルときずの位置が重なるときずに避けて流れる渦電流成分同士が互いに打ち消しあうためにきず信号は発生しない。

この時、検出コイルの巻線方向と同方向に流れる渦電流成分を正、逆方向に流れる渦電流成分を負と仮定すると、きず信号はきずを境にその極性が反転する。

このように矩形プローブは検出コイルの真下で探傷するのではなく、検出コイルから少し離れた両側で探傷する。

またきずが深くなる場合、潜り込む成分よりも避ける成分が多くなる。その避けた渦電流成分が検出コイルに多く流れることできず信号は大きくなる。きず深さが一定で、幅や長さが変わる場合も同様に、きずを避ける渦電流成分は幅が広くなれば多くなるのできず信号が大きくなる。これはきず長さについても同じことが言える。

これらの探傷特性を有する矩形プローブの検出コイルを図4の様に複数個配置するマルチ化にすることで、一つの検出コイルときずの位置が重なっても、他の検出コイルできずの検出ができると考えた。

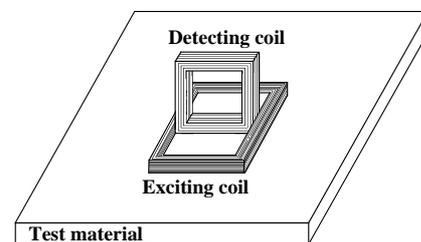


図1 矩形プローブの構造

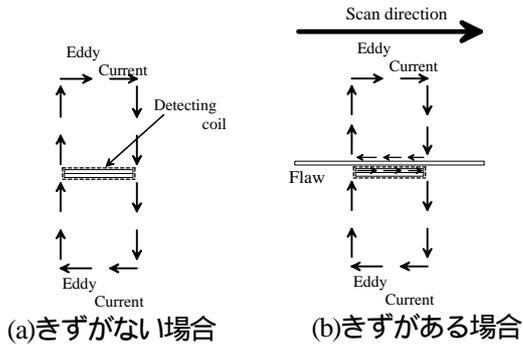


図2 試験体に誘導される渦電流

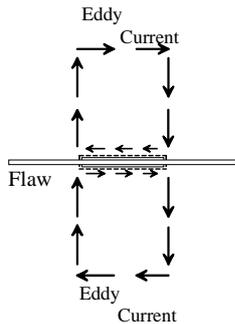


図3 検出コイルときずが重なった場合

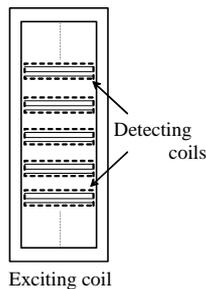


図4 マルチ化検出コイル プローブ

3. 検出コイルをマルチ化するための検討

ラインの移動方向にあるきずの検出をラインの速度に合わせて検査するためには一回の走査で確実にきずを検出しなければならない。マルチ化プローブを用いることでそれは可能であると考えられるが、それには図5に示したモデル図のように検出コイルの間隔はどの程度にするか、また、何個配置するのかを検討する必要がある。マルチ化への予備実験として単一プローブによる探傷実験を行い、その実験から得られた結果を用いて検出コイルの間隔、および数を検討する。

4. 実験方向

試験体として縦、横ともに160mm、厚さ1.5mmの黄銅板を用いた。この試験体の中央にきず幅0.5mm、きず長さ15mm、きず深さを板の肉厚に

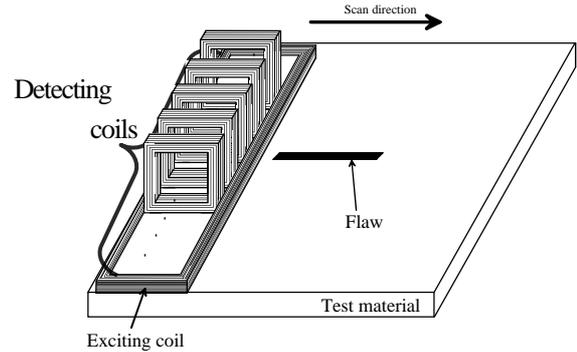


図5 検出コイルのマルチ化モデル

対し、80%、60%、40%、20%のスリット状のきずを放電加工した。また、きず幅、きず長さを変化した場合の探傷特性について検討するために、きずの長さを15mm一定とし、それぞれきず幅を0.2mm、0.8mm、深さ80%のきずを加工した試験体と、きず幅を0.5mm一定とし、それぞれきず長さを10mm、25mm、深さ80%のきずを加工した試験体を用いて探傷を行った。

試験プローブは縦70mm、横7mm、巻線断面積 $1 \times 1\text{mm}^2$ の矩形横置き励磁コイルと、幅5mm、高さ10mm、巻線断面積 $1 \times 1\text{mm}^2$ の矩形縦置き検出コイルから構成されている。

試験周波数は渦電流の浸透深さを考慮し20kHz、走査範囲を $40 \times 40\text{mm}^2$ とした。

5. マルチ化検出コイル プローブの基礎実験

単一プローブを用いてきずに対し、プローブを垂直に走査させた場合の結果を図6に示す。この結果はきず信号の最大となるところをきず信号パターンとしてそれぞれ示したものである。この図からはきずが深くなると信号パターンの振幅も大きくなるのがわかる。また図7に示すプローブ位置に対するきず信号ではきず付近で信号の最大値を示し、きず中心では互いの渦電流成分が打ち消しあい信号は発生しないが、きずから離れていくに従い極性が逆の最大値を示す。従って矩形プローブは検出コイルから少し離れた両側で探傷している。

今回、マルチ化への指標として検出コイルの間隔を決定する一つの基準をきず幅0.5mm、きず長さ15mmの時、それぞれ最大振幅の80%程度の範囲を探傷可能と定めた結果、図8に示すように6.4mm(片側3.2mm)あることがわかった。これにより $40 \times 40\text{mm}^2$ の範囲を一回の走査で確実に探傷するためには検出コイルを3mm等間隔で13

個配置することにより可能となる。

今回の研究ではこの 13 個の検出コイルを配置したマルチ化検出コイルプローブの基礎実験として、きずを検出できるかを確認するために、単一プローブで探傷を行った結果を利用し、模擬して検討を行った。13 個あるコイルのうち、コイル 6 を中心とし、コイル 4~8 に検出されるきず信号を示したのが図 9 であり、(a)はコイル 6 ときずが重なった場合、(b)はコイル 6 からコイル 5 側に 1mm きずがずれた場合の信号波形である。(a)の場合、コイル 6 にはほとんど信号がでていない。これはきずを避けて流れる渦電流成分が互いに打ち消しあうからである。矩形プローブはと検出コイルの位置が重なるときず信号が発生しないのでコイル 6 にきずがあるのがわかる。同様に(b)の場合は、きずを境に信号の極性が反転する特性からコイル 5 と 6 の間にきずがあることがわかる。

以上の結果から、複数の検出コイルによる探傷信号を用いることにより、試験体をライン速度に合わせてきずの検出ができることがわかった。

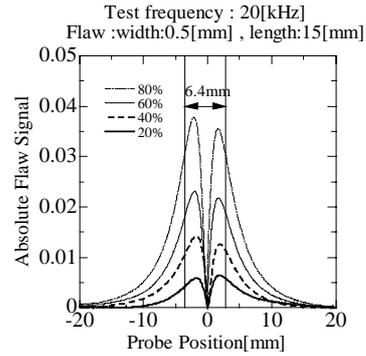


図 8 プローブ位置に対するきず信号

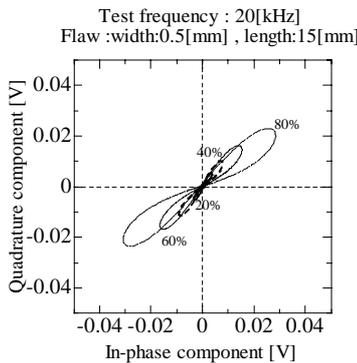


図 6 きず深さが変わった時の信号パターン

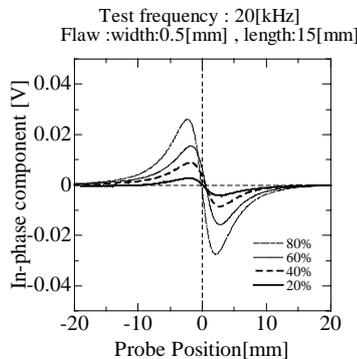
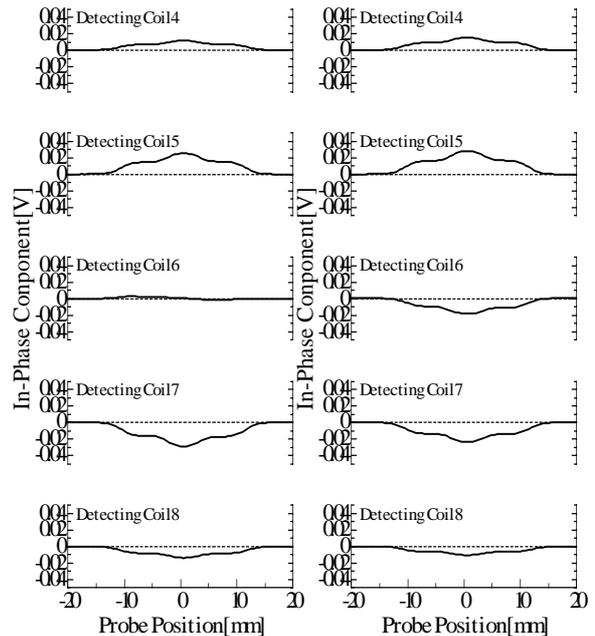


図 7 きず深さが変わった時の信号波形



(a)コイル 6 の真下にきずがある場合 (b)コイル 5 と 6 の間にきずがある場合

図 9 各検出コイルのきず信号

6. きず深さの判別に関する基礎実験

マルチ化検出コイルプローブを用いることにより、ラインの速度に合わせてきず検出ときず位置の判別が可能であることがわかった。しかし生産ラインにおける表面きずの検査ではきずの検出だけでなく、きず深さの判別が求められている。非磁性体材料の検査にプローブを用いると、きず深さによって信号の位相角が変わる。これは表皮効果による影響で、渦電流は試験体内部に浸透するにつれて、指数関数的に減衰し、その位相も遅れるからである。きず深さに対する位相角の変化を図 10 に示す。この結果からきずの深さが異なるとその位相角も異なっていることがわかる。また、きずの深さを一定とし、きずの幅を変えるときず幅が広いほど信号振幅は大きいことが図 11

からわかる。これは幅に応じてきずを避ける渦電流成分が多くなるからである。ここで図 12 を見るときずの幅が異なってもその位相角はほぼ等しいと言える。同様にきずの深さを一定とし、きずの長さを変えた場合のきず信号パターンを図 13 に示す。きず長さが検出コイルに対し、ある程度以上長くなると、検出コイルに流れる渦電流成分がほとんど一定となるためにきず長さ 15mm と 25mm では信号振幅にそれほど差は無い。図 14 を見るときず長さが変わっても深さが一定であれば信号の位相角はほぼ等しいと言える。

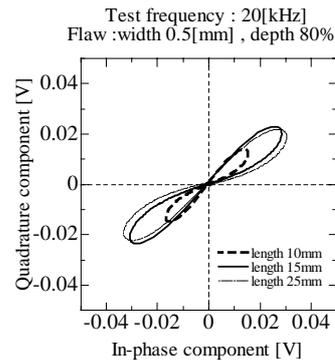


図 13 きず長さが変わった時の信号パターン

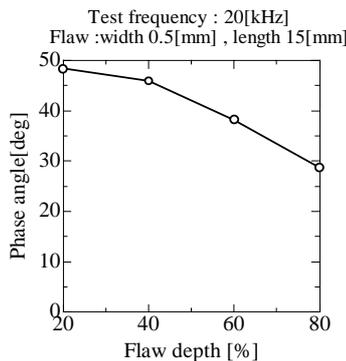


図 10 きず深さに対する位相角

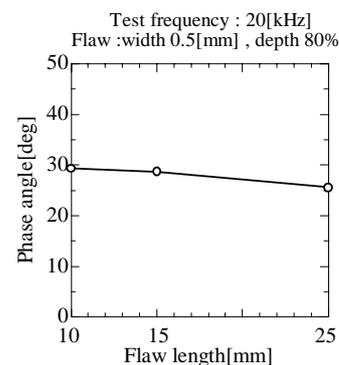


図 14 きず長さに対する位相角

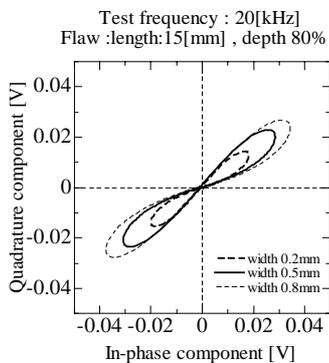


図 11 きず幅が変わった時の信号パターン

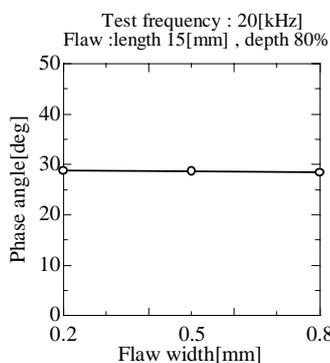


図 12 きず幅に対する位相角

7. おわりに

本研究ではマルチ化検出コイル プロープの基礎的検討を行った。検出コイルをマルチ化することにより、生産ラインの速度に合わせたきずの検出ができることがわかった。今回は $40 \times 40 \text{mm}^2$ の範囲を 13 個の検出コイルを用いたが、試験体の走査範囲に応じて検出コイルの数を変化させることで、色々な検査に応用できると思われる。

今回の研究で、きずの検出、その位置の判別は可能であることがわかったが、ラインではきず深さの判別も求められている。今後の課題として得られたきず信号の位相角から、ニューラルネットワークを用いてきず深さの判別していく予定である。

参考文献

- 1) 柄澤、小山、星川：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 pp736-742 (2001)
- 2) 丸茂、小山、星川：軸方向に長いきずを検出するための雑音が小さいマルチコイルプローブの基礎的検討 第 35 回日本大学生産工学部学術講演会 pp5-8(2002)