

渦電流探傷プローブによる効率的な探傷に関する研究

－円形および矩形励磁コイルについての検討－

日大生産工（院） ○澤 大輔

日大生産工 小山 潔・星川 洋

1. はじめに

金属の表面や表面付近のきずを検出する非破壊検査には、磁粉探傷試験や浸透探傷試験があり、その他に非接触かつ高速で検査できる渦電流探傷試験がある。

渦電流探傷試験とは、試験体に渦電流を発生させ、その変化を検出する試験法である。交流電流を流した励磁コイルを試験体に近づけると、電磁誘導により試験体に渦電流が生じる。試験体にきずがある場合には渦電流が変化するためコイルの起電力も変化する。その変化により、きず検出を行うことができる。

最近のプローブ開発の動向として、探傷時間の短縮や探傷精度の向上が求められている。それらは、プローブのマルチ化で満たされる。コイルをマルチ化することにより、一度の走査で2次元探傷できるため、探傷時間の短縮や精度の向上が可能となる。しかし、単純に複数個のプローブを並べると装置が複雑になってしまう。そこで、装置を簡便化するために、複数個の励磁コイルと1個の検出コイルを組み合わせたマルチ励磁式のプローブを提案する。

円形励磁コイルでは、走査方向に対して平行なきず（縦きず）を探傷する場合に、位置ずれによる探傷感度の低下が発生する場合があった。そこで円形励磁プローブと矩形励磁プローブを組み合わせた構造のマルチ励磁プローブを考案した。矩形励磁プローブでは、縦きずの位置ずれによる探傷感度の低下は原理的に発生しないと考えたためである。円形励磁プローブ

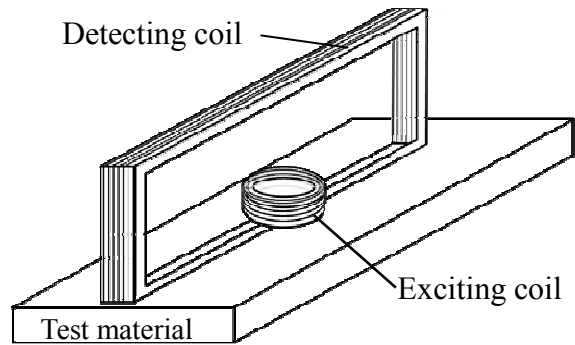


図1 円形励磁プローブの構造

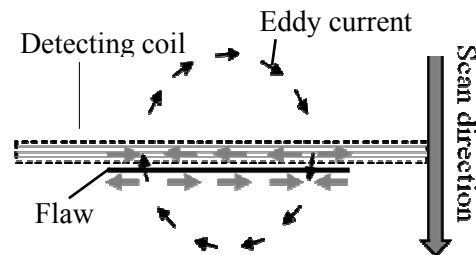


図2 円形励磁プローブの探傷原理

は横きずに対して安定した探傷が可能で、矩形励磁プローブは縦きずに対して位置ずれの影響を受けずに探傷することが可能である。

本報告では、横きずの安定した探傷が可能な円形励磁コイルと、縦きずの安定した探傷が可能な矩形励磁コイルによる探傷実験を行った。その結果からマルチ励磁プローブの構造についての検討を行った。

2. プローブの構造と探傷原理

円形励磁プローブ、矩形励磁プローブともに励磁コイルが試験体に巻き線方向の渦電流を誘導し、検出コイルはその巻き線方向に流れる渦電流成分を検出する。

Study on Eddy Current Probe with Efficient Flaw Detection
-Circular and Rectangular Exciting Coils-
Daisuke SAWA, Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

本報告では円形励磁プローブは横きずの検出をのみを行い、矩形励磁プローブは縦きずの検出のみを行っている。

図1のプローブは、局所的な渦電流を発生させる小さな円形横置きの励磁コイルと、広い探傷範囲をカバーするための励磁コイルに比べて長い矩形縦置きの検出コイルを組み合わせた構造である。

図2は円形励磁コイルの探傷原理を示す。きずがない場合には励磁コイルに誘導された渦電流に変化はなく、検出コイルの巻き線方向に流れる渦電流成分は存在しないため、信号は検出されない。図2に横きずが検出コイルの下側にある場合を示す。図中の色の薄い矢印はきずを避けて流れる渦電流成分である。きずがある場合、渦電流はきずを避けて流れる。ここで、検出コイルを長くしたため、励磁コイル直下のきずを避けて流れた渦電流成分は励磁コイルの内側と外側で逆向きになるため検出コイルの起電力は打ち消し合い、励磁コイルの中心部の渦電流成分のみを検出する。きずが検出コイルの上側にある場合には図2とは、きずを避けて流れる渦電流は逆向きに流れる。きずが検出コイルの真下にある場合にはきずを避けて流れる渦電流成分は検出コイルの上下で逆向きに流れるため、検出コイルの起電力が打ち消し合い、信号は検出されない。よって、横きずの上を通るように走査したとき、きずの両側で信号が検出される。検出された信号は8字パターンと言われる正と負の成分を持つ信号となる。なお、縦きずの探傷を行った場合には、縦きずが励磁コイルの中心からずれると探傷感度が低下する。

図3は探傷領域を広げるために通常より長い矩形横置きの励磁コイルと、同等の長さを持つ矩形縦置きの検出コイルを組み合わせた構造である。矩形励磁コイルは主に縦きずの検出に焦点を当てている。矩形励磁プローブによる探傷では、縦きずがプローブの中心からずれて

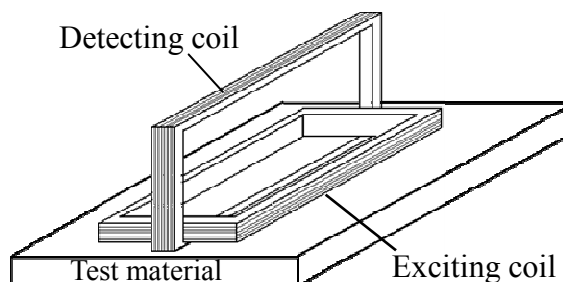


図3 矩形励磁プローブの構造

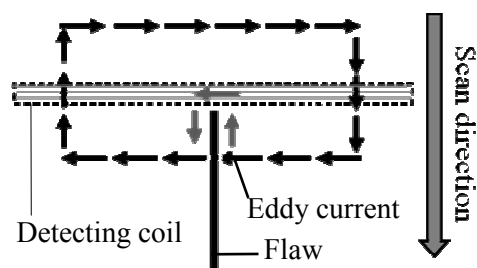


図4 矩形励磁プローブの探傷原理

も探傷感度は低下しない。

図4は矩形励磁コイルの探傷原理を示す。きずがない場合には励磁コイルに誘導された渦電流に変化はなく、検出コイルの巻き線方向に流れる渦電流成分は存在しないため、信号は検出されない。図4に縦きずが検出コイルの下側にある場合を示す。きずを避けて流れる渦電流成分に、検出コイルの巻き線と同方向に流れる渦電流成分が発生する。検出コイルは、その巻き線方向に流れる渦電流成分から生じる垂直方向成分の磁束を検出する。きずが検出コイルの上側にある場合には下側にある場合とは逆極性の信号を検出する。きずの中心が検出コイルの真下にある場合にはきずの左右で渦電流成分が逆向きに流れるため、検出コイルの起電力が打ち消し合い、信号は検出されない。よって、矩形励磁コイルを用いて横きずの上を通るように走査したとき、きずの両端で信号が検出される。検出された信号は一般的に8字パターンと呼ばれる正と負の成分を持つ信号となる。なお、横きずの探傷では、きずが渦電流の流れをほとんど妨げないため探傷信号は非常に小さくなり、探傷感度が著しく低下する。

3. 実験条件と実験方法

試験体は縦と横が 180mm で厚さが 1.5mm の真鍮板で、中央にスリットきずが放電加工されている。きず寸法は長さが 5、10、15、25mm、幅が 0.5mm、深さは板厚に対し、20、40、60、80%である。

試験周波数は 20kHz とした。

図 1 に示したプローブの寸法を以下に示す。励磁コイルは内径が 6mm、外径が 9mm、巻き線断面積は $1.5 \times 1.5 \text{ mm}^2$ である。検出コイルは長さが 50mm、高さが 9mm、巻き線断面積は $1 \times 1 \text{ mm}^2$ である。

図 2 に示したプローブの寸法を以下に示す。励磁コイルは短辺が 6mm、長辺が 47mm、巻き線断面積は $1.5 \times 1.5 \text{ mm}^2$ である。検出コイルは長さが 50mm、高さが 9mm、巻き線断面積は $1 \times 1 \text{ mm}^2$ である。

図 4 に示すように、きずは縦きずと横きずの 2 方向で、きずの真上をプローブが通るように走査した。

4. 実験結果

図 5 は円形励磁プローブによる横きずの探傷結果である。図 5(a)は円形励磁プローブを用いて、きず長さ 10mm、きず深さ 80~20%の横きずを探傷した時の信号パターンである。信号パターンはきず深さに応じて変化した。このパターン図の先端部を直線で結び、その探傷信号の差を信号振幅とした。また、パターン図の先端部を結ぶ直線の傾きを信号位相とした。信号位相に基づいてきず深さ評価ができる。

図 5(b)はきず長さが 5~25mm の場合のきず深さと信号振幅の変化を示した。信号振幅はきず深さに応じて変化した。この図から浅いきずにおいても高い探傷感度を持つことがわかった。また、きず長さが 10、15、25mm では信号振幅は同等の値となったが、きず長さが 5mm の場合では信号振幅は小さくなった。よって、

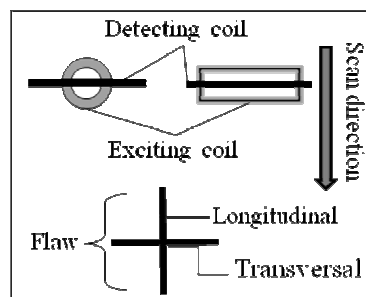
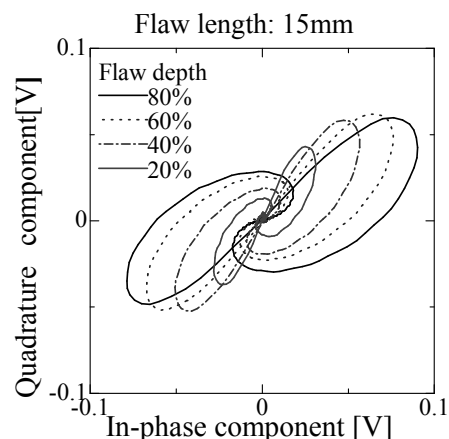
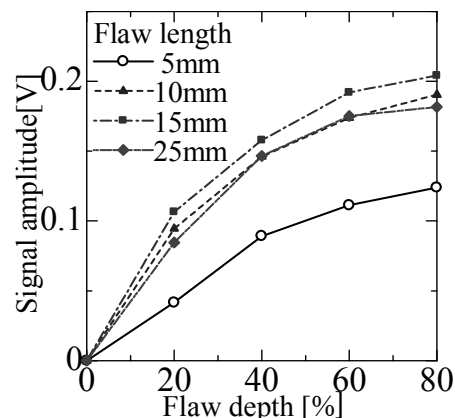


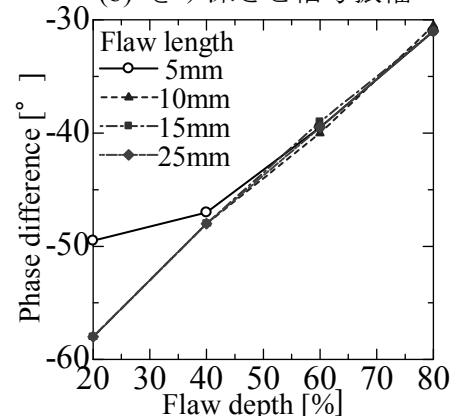
図 4 走査方向ときず方向



(a) 探傷信号パターン



(b) きず深さと信号振幅



(c) きず深さと信号位相

図 5 円形励磁プローブの探傷結果

きず長さが 10mm 以上の様な励磁コイル径以上の長さの場合には同等の探傷感度が得られる。しかし、5mm の様な励磁コイル径より短いきずの場合には探傷感度が低下してしまう。

図 5(c)はきず長さが 5~25mm の場合のきず深さと信号位相の変化を示している。信号位相はきず深さに応じて変化したため、きず深さ評価が可能である。また、きず長さが 10mm 以上の場合では信号位相がほぼ同じ値になった。よって、励磁コイル径よりも長いきずならば、きず長さの影響を受けずにきず深さ評価を行うことが可能である。きず長さが 5mm で浅いきずの場合は検討が必要である。

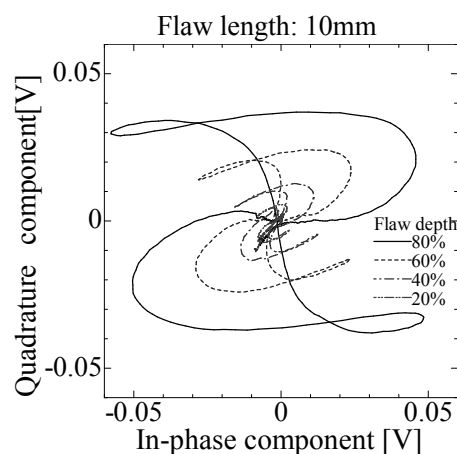
図 6 は矩形励磁プローブによる縦きずの探傷結果である。図 6(a)は矩形励磁プローブを用いて、きず長さ 10mm、きず深さ 80~20%の縦きずを探傷した時の信号パターンである。信号パターンはきず深さに応じて変化した。円形励磁コイルの場合と同様にパターン図から信号振幅を求める。

図 6(b)はきず深さと信号振幅の関係である。信号振幅は 10mm 以上のきずでは、ほぼ同じ値になるが、5mm の場合には信号振幅は大きくなった。これは、矩形励磁コイルの短辺が 6mm なので、2 本の長辺下に流れる渦電流をきずが妨げるときに、きず長さが 10mm 以上の場合には、検出された信号が干渉しあってしまうためだと考えられる。よって、きず長さが矩形励磁コイルの短辺よりも長い場合には信号振幅はほぼ同じ値になると考えられる。信号位相については現在検討中である。

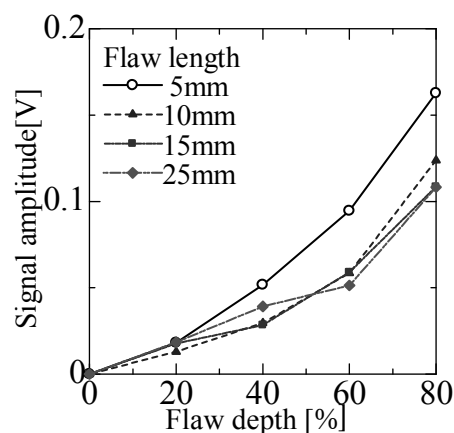
5. まとめ

効率的な探傷が可能な渦電流探傷プローブに関する研究として長い検出コイルの円形励磁プローブと矩形励磁プローブの 2 種類の励磁コイルについて検討を行った。

今回の結果から、円形励磁プローブによる横きずの探傷、矩形励磁プローブによる縦きずの



(a) 探傷信号パターン



(b) きず深さと信号振幅

図 6 矩形プローブの探傷結果

探傷はともに安定した探傷が可能であった。きず深さ評価については円形励磁プローブでは可能であることがわかった。一方、矩形励磁プローブは今後も検討が必要である。

よって、円形励磁コイルと矩形励磁コイルを組み合わせたマルチ励磁プローブを用いることで、縦きず、横きずともに安定した探傷感度を持つ渦電流探傷試験ができると考えられる。

6. 参考文献

- 1) 角田、小山、星川：渦電流探傷 Θ プローブのきず検出性能に関する研究 第 37 回学術講演会概要集 pp 61-64(2004)
- 2) 澤、小山、星川：マルチ励磁式渦電流探傷 Θ プローブのための基礎的研究 第 12 回表面探傷シンポジウム講演論文集 pp15-18(2009)