

異方性磁気抵抗効果素子 (AMR) を利用した渦電流探傷プローブに関する研究

日大生産工 (院) ○赤岡 千晶

日大生産工 小山 潔 星川 洋

1 はじめに

非破壊検査の方法の一つに試験体に非接触かつ高速度に傷の検出を行える渦電流探傷試験がある。一般的な渦電流探傷試験の傷検出を行うプローブの磁束検出部にはコイルが使用される。渦電流探傷試験は主に金属材料の表面探傷に用いられており、対象物に対して励磁する場合に使用される周波数域は高周波数域である。しかし、渦電流の浸透深さは周波数に依存するので、高周波数を使用すると表皮効果により渦電流の浸透深さは浅くなり、深い傷の検出が困難になる。また、浸透深さを深くするため低周波数を使用すると発生する渦電流の強度が低下し、さらに渦電流から発生する磁界も弱くなるため、磁束検出部のコイルの誘導起電力が低下し傷の検出が難しくなる。

周波数による影響を軽減するために磁束検出部に巨大磁気抵抗効果素子 (GMR) を用いたプローブがある。^{1, 2)}。しかし、GMR は直流出力であるため位相評価が不可能という問題がある。そこで、交流の出力を発生する異方性磁気抵抗効果素子 (AMR) と縦置き励磁コイルから構成される渦電流探傷プローブを提案する。

本研究では磁束検出部にコイルを用いた場合と AMR を用いた場合の周波数及び傷に対する信号振幅及び傷検出信号を比較し、AMR を用いた渦電流探傷プローブの有効性について検討を行った。

2 異方性磁気抵抗効果素子 (AMR)

2-1 AMR の構造

AMR (Anisotropic Magnetic Resistance) はパーマロイ (ニッケルと鉄の合金) により構成されている。溶けたパーマロイ材料を特定方向に磁界をかけた状態で固め、異方性磁気抵抗効果を生じるようにさせた素子である。AMR は特定方向の直流及び交流磁束を検出する素子である。

2-2 異方性磁気抵抗効果

図 1 に異方性磁気抵抗効果の原理を示す。図 1 (a) のように外部磁界が存在しない場合、電流 I はパーマロイを 45° の角度で通過するため、磁化方向 M と電流のなす角度 θ は 45° となる。しかし図 1 (b) のように外部磁界が存在する場合、パーマロイ内の磁化の向きが変化する。そして電流と磁化のなす角度が変化することにより、素子の電気抵抗が変化する。この効果のことを異方性磁気抵抗効果という。

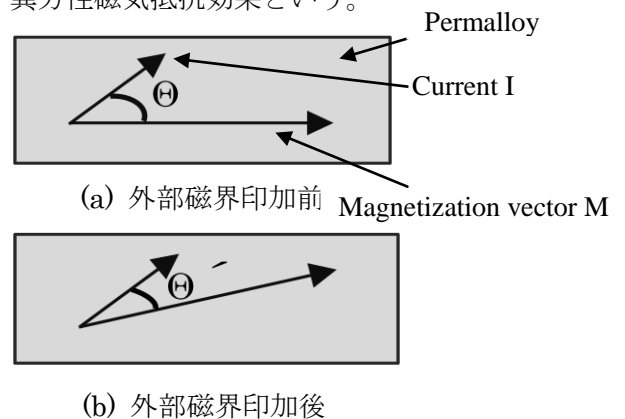


図 1 異方性磁気抵抗効果の原理

Study on Eddy Current Testing Probe with Anisotropic Magnetic Resistance (AMR) device

Chiaki AKAOKA, Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

2-3 AMR による信号出力

図2はAMRのパッケージ中の回路を示している。AMRに磁界が印加されると異方性磁気抵抗により電気抵抗が変化する。AMRの電気抵抗が変化すると、ブリッジ回路中の平衡状態が崩れ、AMR内で電位差を生じ出力電圧を得られる。また、AMRは交流磁界に対して交流電圧を出力する。

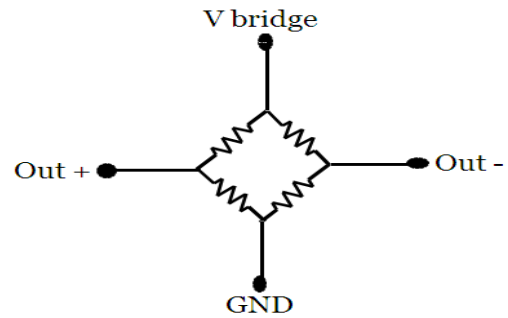


図2 パッケージ中の回路

3 AMR を用いた渦電流探傷プローブ

3-1 構造

提案する渦電流探傷プローブの構造を図3に示す。二つの励磁コイルにはそれぞれ逆方向きの電流を流し、試験体上に垂直に磁束を発生させて、渦電流を誘導させる。そして二つの縦置き矩形励磁コイルの間にAMRを試験体と平行成分の磁束を検出するように配置した。

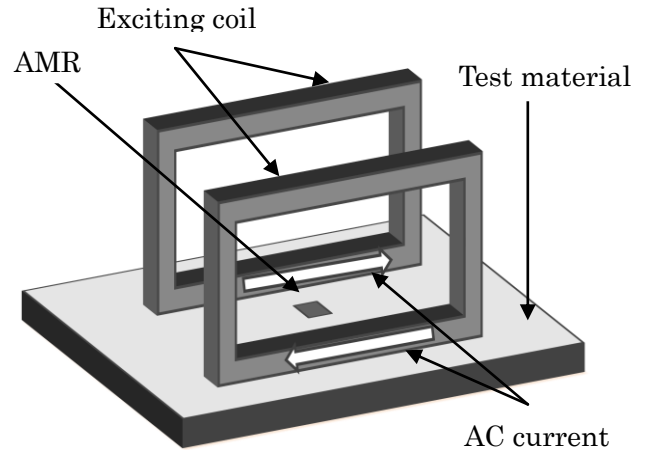
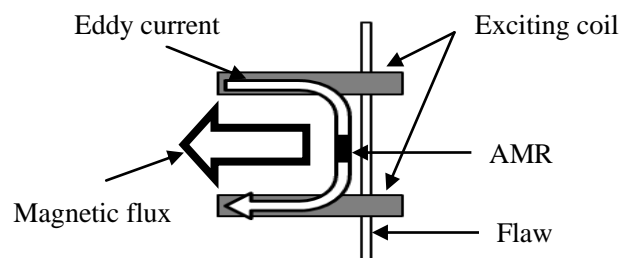


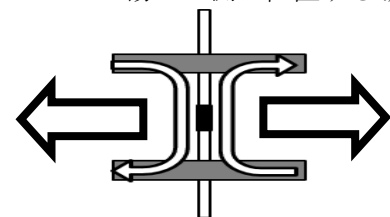
図3 渦電流探傷プローブの構造

3-2 傷の検出原理

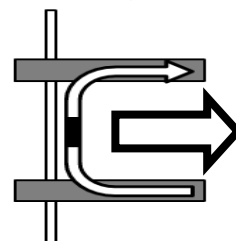
図4に傷の検出原理を示す。傷がない場合励磁コイルに誘導された渦電流に変化はなく、AMRは磁束を検出しないため信号は発生しない。(a)のようにプローブが傷の左側に位置すると渦電流は傷に沿って流れ、AMRは渦電流から発生する試験体と平行成分の磁束を検出し、電圧を発生させる。図(b)のようにプローブが傷の真上に位置すると傷の両側に流れる渦電流から発生する磁束の向きが逆向きなので互いに打ち消しあうため、AMRは磁束を検出せず電圧は発生しない。二つの励磁コイルに逆方向きの電流を流す理由はこのためである。図(c)のようにプローブが傷の右側に位置すると、傷の右側で傷に沿って流れる渦電流の流量が増えるためAMRは渦電流から発生する試験体と平行成分の磁束を検出し電圧を生じる。つまり、AMRが電圧を発生するのは、傷の両側にプローブが位置しているときである。



(a) プローブが傷の左側に位置する場合



(b) プローブが傷の真上に位置する場合



(c) プローブが傷の右側に位置する場合

図4 傷の検出原理

4 実験条件及び方法

使用した AMR は Honeywell 社製の型番 HMC1001 でパッケージされている素子を用いた。パッケージの寸法は長さ 10mm、幅 7mm、高さ 1.5mm である。AMR には直流電圧 5V を印加した。励磁コイルの寸法は、長さ 40mm、幅 8mm、高さ 30mm である。AMR の特性を把握するために磁束検出部にコイルを用いたプローブも開発した。そのプローブの検出コイルの寸法は、縦 7mm、横 8mm、幅 1mm である。試験体はステンレス製の SUS316L を用いており、表面には放電加工したスリット状の傷がある。傷の寸法は長さ 40mm、幅 0.5mm で深さは 5、10、15、20mm である。

磁束検出部に AMR を用いた場合とコイルを用いた場合で同じ励磁コイルを用いて、試験周波数を 5、10、20kHz と設定した。また、試験体と平行成分の磁界を検出するように AMR を配置し、傷から ±20mm の範囲でプローブを走査させた。

5 実験結果

図 5 は磁束検出部が AMR の場合の信号パターンであり、図 6 は磁束検出部がコイルの場合の信号パターンである。いずれも横軸に信号の実数成分、縦軸に信号の虚数成分の交流出力電圧特性を示している。

図 5 と図 6 を比較した場合、周波数が 20kHz から 5kHz に変わると、AMR では信号の最大値はおよそ 1/3 に減少している。対してコイルの場合では 1/15 となり、AMR に比べ大きく減少していることが分かる。

そこで、図 7 に傷深さが 5mm の場合と 20mm の場合の周波数に対する正規化信号振幅を示す。図 7(a)では AMR はコイルに比べて周波数の変化による信号振幅の変

化が小さく、AMR とコイルでおおよそ 2 倍程度の振幅の差がみられる。同様に図 7(b)でも、AMR とコイルではおおよそ 5 倍程度の振幅の差がみられた。これは、AMR の場合では、周波数が低くなると渦電流の強度の低下によって出力電圧が減少するが、コイルの場合では渦電流の強度の低下と誘導起電力の低下が起これ、周波数の影響を二重に受けるからである。

従って、これらの結果より、AMR はコイルに比べ周波数による影響を受けにくいことが分かる。また、AMR の方がコイ

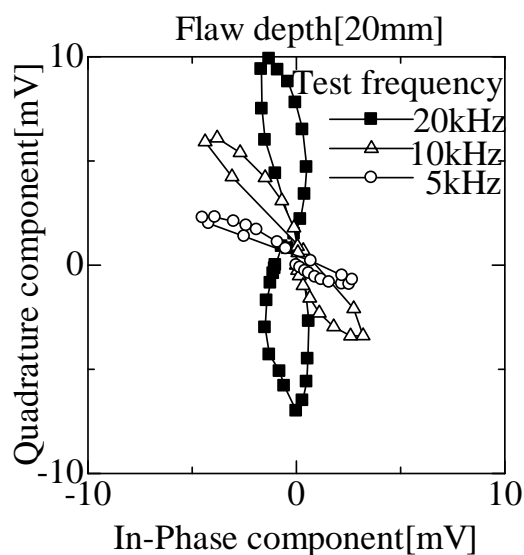


図 5 AMR が検出部の場合の信号パターン

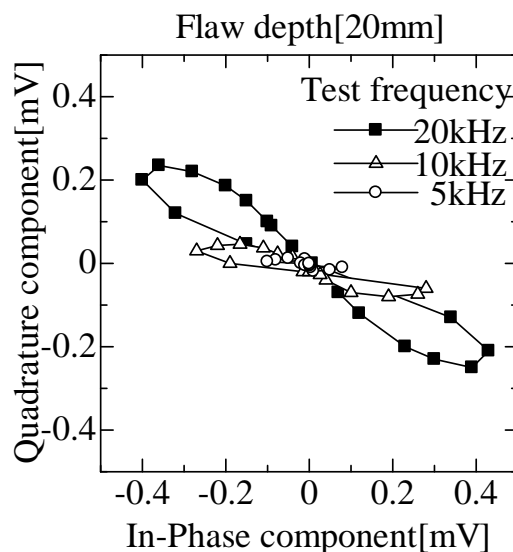
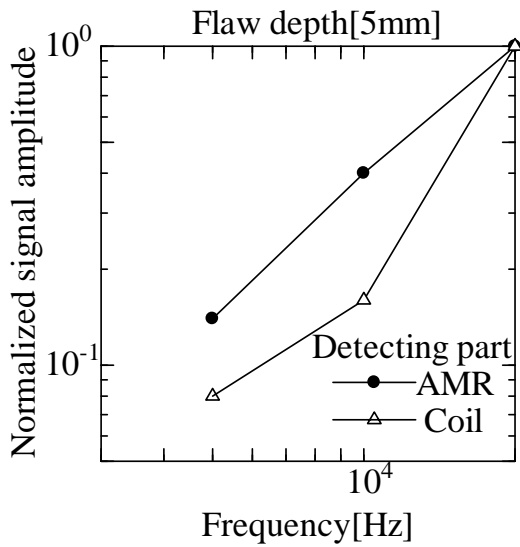


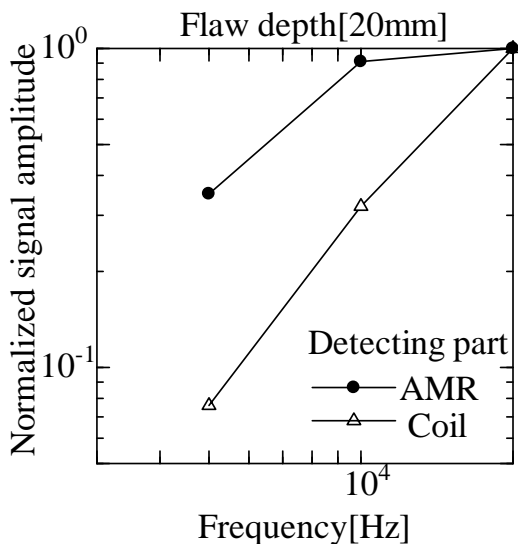
図 6 コイルが検出部の場合の信号パターン

ルに比べ実数成分かつ虚数成分の値が非常に大きく、信号の虚数成分の最大値にはおよそ40倍の差があることが分かる。

図8は磁束検出部がAMRの場合の傷深さに対する正規化信号振幅である。周波数が変化しても傷深さに対応した信号が得られており、傷深さ20mmまで比例的に変化していることが分かる。すなわち、低周波数域でもAMRは傷深さ情報を得やすいことが言える。



(a) 傷深さ 5mm の場合



(b) 傷深さ 20mm の場合

図7 周波数に対する正規化信号振幅

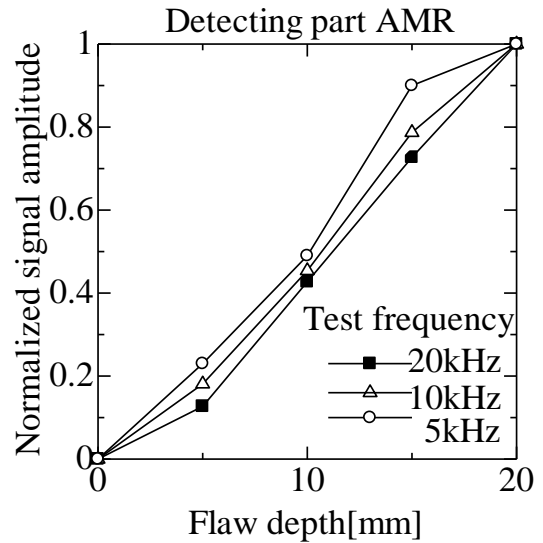


図8 傷深さに対する正規化信号振幅

6 まとめ

今回、磁束検出部がAMRの場合とコイルの場合での傷信号を比較し、AMRプローブの特性の把握及び周波数が信号に与える影響について検討を行った。

図7の結果よりAMRはコイルに比べ、周波数による影響を受けにくい。つまり、低周波数域でも検出感が低下しにくい。そのためAMRを使用すれば低周波数域での深い傷の検出、及び位相評価が可能であることを確認した。

今後は周波数を今回より大幅に変化させての渦電流探傷実験を行い、信号の位相評価等を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 住田裕基、小山潔、星川洋：「GMRを用いた渦電流探傷プローブの基礎特性に関する研究」
日本大学 生産工学部 第41回学術講演会 pp67-70(2008)
- 2) 住田裕基、小山潔、星川洋：「GMRを用いた短形励磁渦電流探傷プローブによる欠陥検出に関する研究」
日本大学 生産工学部 第42回学術講演会 pp9-12(2009)