

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の探傷特性について

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である渦電流探傷試験は、試験体に非接触かつ高速度にきずの検出が可能である。渦電流探傷試験において従来のプローブでは磁束検出部にコイルを用いる。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際の周波数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。よって、高周波数域では渦電流の浸透深さは浅く、深いきずの評価が困難となる。また、浸透深さを深くするため低周波を使用した時、磁束検出部にコイルを使用した従来のプローブでは発生する渦電流の減衰に加え誘導起電力の低下が起こる為、検出感度が大幅に低下してしまう。つまり、磁束検出部にコイルを使用した従来のプローブでは深いきずの評価が困難という問題がある。

そこで深いきずの評価を目的として、検出感度が周波数に依存しない異方性磁気抵抗効果素子(AMR)を磁束検出部に利用した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 AMR を使用した場合とコイルを使用した場合で探傷条件が異なる場合の検出信号パターンを比較し、AMR を利用した渦電流探傷プローブの探傷特性について検討を行ったので報告する。

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。溶かしたパーマロイを特定方向に磁界

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)のように外部磁界印加前、電流 I はパーマロイ内を 45° の角度で通過し、磁化方向 M と電流 I は角度 45° をなすように設定されている。図 1(b)のように外部磁界を印加した場合、パーマロイ内の磁化 M の向きが変化する。そして電流 I と磁化 M 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。

2-3 AMR による信号出力

図 2 はパッケージ型の AMR を示し、図 3 はパッケージ中の回路図を示す。図 2 よりパッケージされた AMR は y 方向の磁束を検出するようになっている。図 3 のようにパッケージ中の

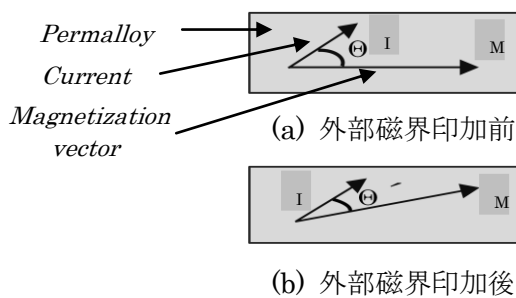


図 1 異方性磁気抵抗効果の原理

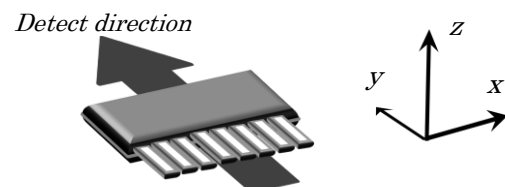


図 2 パッケージ型の AMR

Flaw Detection Characteristics of Eddy Current Testing Probe with AMR device

Chiaki AKAOKA, Kiyoshi KOYAMA, Hiroshi HOSHIKAWA

回路は四辺に AMR を使用したブリッジ回路構成になっており、AMR に磁界が印加されると異方性磁気抵抗効果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、電位差を生じ出力電圧を得られる。

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 4 に示す。二つの縦置き矩形励磁コイルにはそれぞれ逆向きの電流を流し、x 及び z 方向に磁束を発生させ試験体上に渦電流を誘導させる。そして二つの矩形励磁コイルの間に AMR を配置した。また、このときの AMR は試験体と平行成分(y 方向)の磁束を検出するような配置とした。

3-2 きずの検出原理

図 5 にきずの検出原理を示す。きずがない場合励磁コイルにより誘導された渦電流に変化はなく、試験体と平行成分(y 方向)の磁束は存在しないため AMR は磁束を検出せず信号は発生しない。図 5(a)のようにプローブがきずの左側に位置すると渦電流はきずに沿って流れ閉ループを形成する。そして 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 5(b)のようにプローブがきずの真上に位置するときず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。図 5(c)のようにプローブがきずの右側に位置すると図 5(a)の場合と同様に渦電流はきずに沿い流れるが、渦電流から発生する磁束の向きが互いに逆向きなので、得られる信号も逆極性となる。つまり、AMR が電圧を発生するのは、きずの両側にプローブが位置しているときである。また、図 5(d)のように走査方向に対しきずが斜めに存在する場

合、きずに沿って流れる渦電流から発生する磁束の強度(y 方向)はきずが垂直に存在する場合と異なる。つまり、きずの角度により信号が変化する。

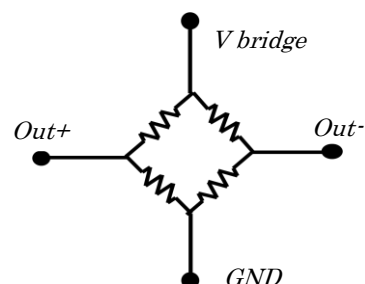


図 3 パッケージ中の回路図

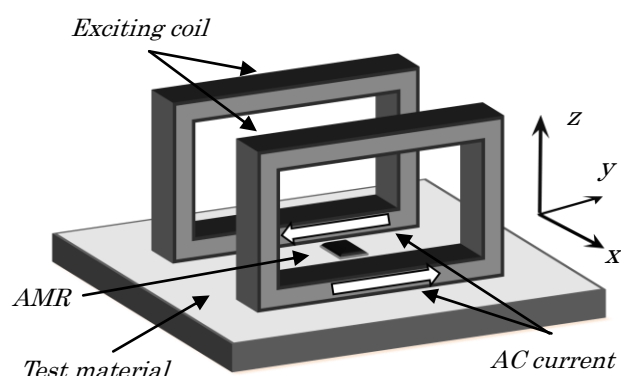


図 4 渦電流探傷プローブの構造

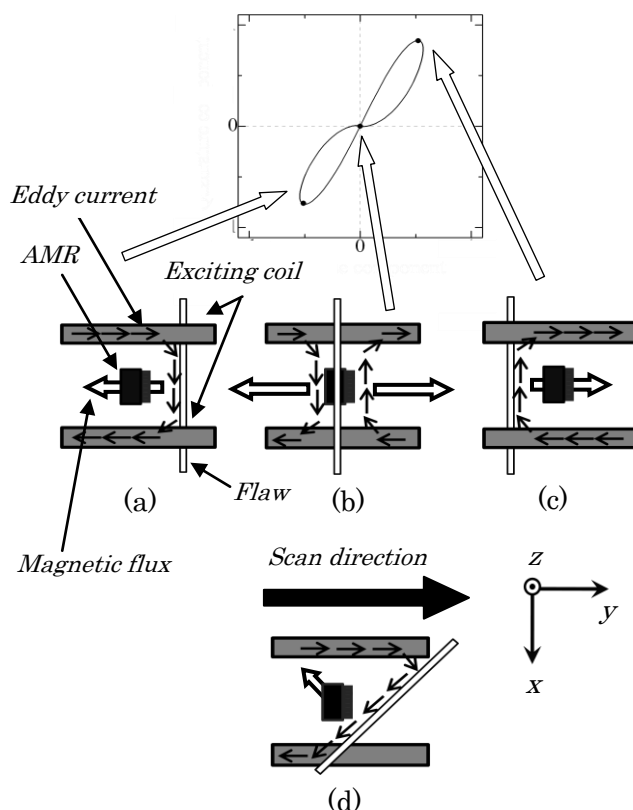


図 5 きずの検出原理

4 実験条件及び方法

使用した試験体の概要を図 6 に示す。試験体はステンレス SUS316L を使い、厚さは 25mm であり、表面にはスリット状のきずを放電加工した。きずの寸法は長さ 40mm、幅 0.5mm、深さは 0.5、1、2.5、5、10、12、15、20mm である。きずの角度はプローブの走査方向に対して 45° 、 90° とし、きずから $\pm 25\text{mm}$ の範囲でプローブを走査した。プローブの励磁コイルの寸法は、長さ 40mm、幅 8mm、高さ 30mm である。AMR は Honeywell 社製の型番 HMC1001 を用いた。AMR の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。比較に用いた検出コイルの寸法は、縦 7mm、横 8mm、幅 1mm である。

同じ励磁コイルを用い、磁束検出部を AMR とコイルに変え、信号を比較した。試験周波数は 0.5、1、10、20kHz と設定し、この際の励磁電流は 64mA 一定とした。

5 実験結果

図 7 はきず角度が 90° のときの信号パターンであり、(a)は磁束検出部が AMR の場合、(b)は磁束検出部がコイルの場合である。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。(a)と(b)を比較すると周波数が 20kHz から 1kHz に低下すると信号振幅の減少率に大きな差が出ている。これは AMR の場合、周波数が低下すると渦電流の強度の低下のみで出力電圧が低下するが、コイルの場合は渦電流の強度の低下に加えて誘導起電力の低下が起こるため検出感度が大幅に低下するからである。つまり、AMR はコイルに比べ周波数による影響が小さい。¹⁾

図 8 と図 9 には磁束検出部が AMR の場合とコイルの場合のきず深さに対する正規化信号振幅を示す。AMR の場合、周波数が 1kHz、0.5kHz と低周波になるにつれ振幅は比例的に

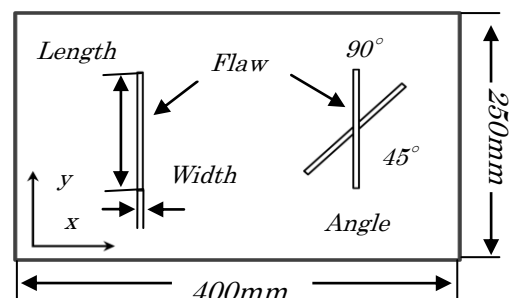
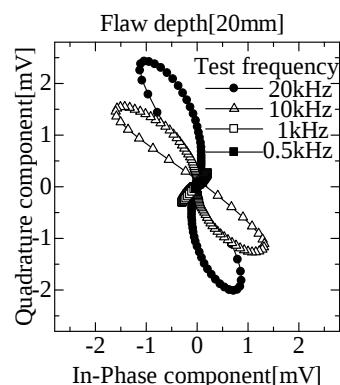
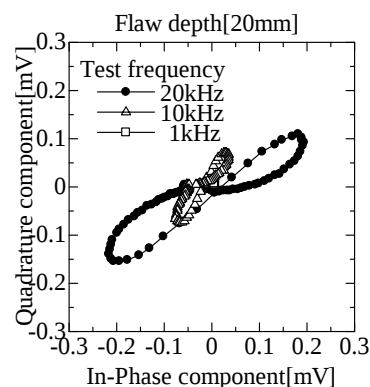


図 6 試験体の概要ときず角度



(a) 磁束検出部が AMR の場合



(b) 磁束検出部がコイルの場合

図 7 信号パターン(きず角度 90°)

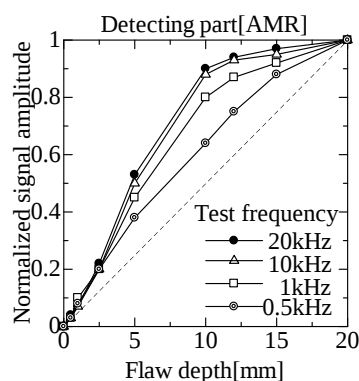


図 8 きず深さに対する正規化信号振幅(AMR)

変化している。一方、コイルの場合はいずれの周波数においても、振幅は浅いきずのとき急激に変化し、深いきずでは飽和状態である。つまり、低周波数域においてAMRはコイルに比べ、深さ情報を得やすいと言える。

図10はきず角度が 45° の場合の信号パターンであり、(a)は磁束検出部がAMRの場合、(b)がコイルの場合である。図10(a)と図7(a)を比較すると位相に変化がなく、振幅のみ変化していることが分かる。これはAMRが検出する試験体と平行成分の磁束の強度が低下したからである。一方で図10(b)と図7(b)を比較すると信号パターン自体が大きく変化し8の字を描いていないことが分かる。これは磁束検出方向が一方向のAMRと異なり、コイルは斜め方向の渦電流から発生する磁束を全て検出してしまっているからである。

図11はきず角度が 45° の場合の周波数に対する正規化信号振幅である。周波数が20kHzから1kHzに低下するとAMRの場合、振幅はおおよそ1/5に減少しているのに対し、コイルではおおよそ1/25となりAMRと比較し大幅に減少している。つまり、きず角度が変化してもAMRは周波数の影響を受けにくく、低周波での探傷に適していると言える。

6 まとめ

今回、磁束検出部がAMRの場合とコイルの場合で探傷条件が異なる場合の信号を比較し、提案するプローブの探傷特性を検討した。

結果よりAMRを用いれば、低周波数域における深いきずの評価が可能となる。また、AMRはきず角度に依存せず8字型の信号パターンを描き、周波数による影響も小さいことを確認した。

【参考文献】

1) 赤岡千晶、小山潔、星川洋:「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検討」

第14回表面探傷シンポジウム講演論文集 pp94-97(2011)

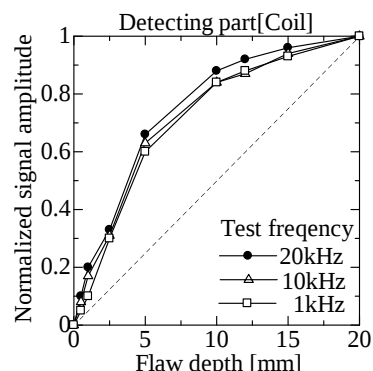
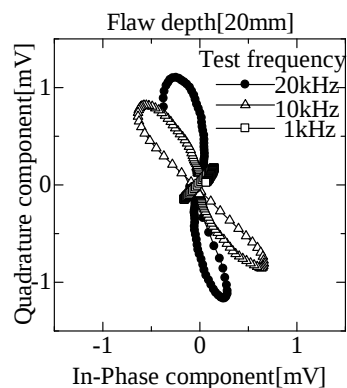
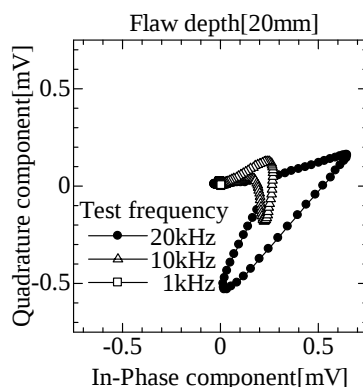


図9 きず深さに対する正規化信号振幅(コイル)



(a) 磁束検出部がAMRの場合



(b) 磁束検出部がコイルの場合

図10 信号パターン(きず角度 45°)

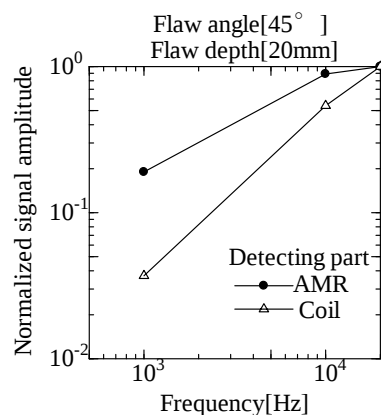


図11 周波数に対する正規化信号振幅
(きず角度 45°)