

一様渦電流プローブを用いた溶接部の渦電流探傷試験に関する研究

日大生産工(院) ○三登 康雄

日大生産工 小山 潔・星川 洋

1. はじめに

溶接部表面の割れの検査には、従来、磁粉探傷試験法や浸透探傷試験法が用いられている。しかし、これらの探傷法は防錆のために施されているコーティングを剥がしてから検査を行う必要があるため、多大なコストと手間がかかってしまい、また探傷速度が遅いという欠点がある。この溶接部表面の割れの検査に渦電流探傷を用いると、非接触で探傷を行えるためにコーティングを剥がす必要がなく、また電気信号で処理をするので高速で探傷を行うことが可能である。

しかし従来より渦電流探傷に用いられている上置プローブでは、試験体とプローブとの相対距離であるリフトオフの変化や溶接部形状によって大きな雑音が発生してしまい、SN比が低下してしまうため、探傷が困難である。

そこで、原理的にリフトオフ雑音の発生しない一様渦電流プローブを用いることで、溶接部の形状による雑音も抑えられ SN 比の高い探傷が期待できる¹⁾。また、走査方向に対して平行なきずは渦電流の変化を、垂直なきずは漏洩磁束を検出するため、一度の走査で平行きず、垂直きずの両方を探傷できる。

2. 一様渦電流プローブによる探傷原理

図 1 に今回使用した一様渦電流プローブの構造を示す。矩形に巻かれた縦置ききの励磁コイルと、プローブの底面に置かれた矩形の検出コイルで構成される。

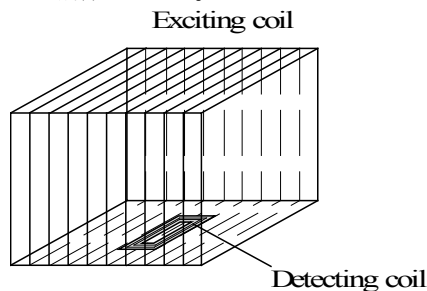


図 1 一様渦電流プローブの構造

励磁コイルに電流を流すと図 2 のように試験体表面には励磁コイルの巻線方向と平行な方向に渦電流が発生する。試験体にきずが無い場合、渦電流の方向と平行な検出コイルの部分には起電力が発生するが、コイルの巻線方向に対して互いに逆方向であるために起電力は打ち消しあって信号は発生しない。リフトオフが変化しても検出コイルの左右で自己平衡を保つ限り原理的には信号は発生しない。

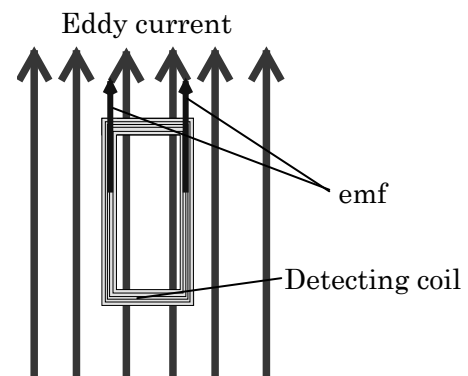


図 2 試験体に誘導される渦電流

一様渦電流プローブは励磁コイルの巻線方向と垂直な方向に走査し探傷を行う。試験体にきずがある場合を考える。渦電流と垂直なきずがあると、渦電流はきずを避けるように流れが変化する。図 3 のように検出コイルの片側の真下にきずがある場合、渦電流の変化によりその真上の検出コイル成分に発生する起電力が変化し、検出コイルの自己平衡が崩れ、コイルには電流が流れきず信号となる。きずが検出コイルの逆側に来た場合、コイルに流れる電流の向きも逆となり、逆極性の信号となる。また、検出コイルの中央の真下にきずがある場合、渦電流の変化により起電力は変化するが、検出コイルの左右で自己平衡を保ち信号は発生しない。

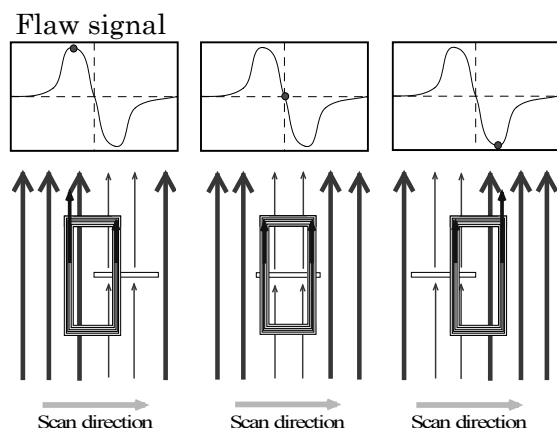


図3 走査方向に対して平行なきずの探傷

渦電流と平行なきずがある場合を考える。励磁コイルより誘導された磁束は磁性体である試験体内部を通過し、きずのある箇所であったん空气中に漏れ出て、再び試験体内部へ入り込む。

図4のように検出コイルの片側の真下にきずがある場合、空气中に漏れ出る磁束、あるいは試験体内部へ入り込む磁束が検出コイルを鎖交するため、検出コイルには起電力が発生し電流が流れる。検出コイルの中央の真下にきずがある場合、空气中に漏れ出る磁束と試験体内部に入り込む磁束の検出コイルに鎖交する成分の総和は零となり検出コイルに起電力は発生しない。

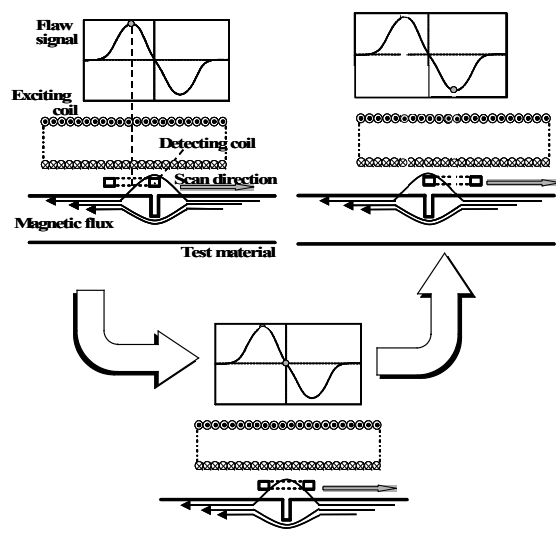


図4 走査方向に対して垂直なきずの探傷

このように一様渦電流プローブは走査方向に対して平行なきずは渦電流の変化を検出し、

走査方向に対して垂直なきずは漏洩磁束を検出することできず信号を発生する。

一様渦電流プローブを用いて溶接部に対して垂直方向に渦電流を流し、溶接線に沿って走査を行うことで、溶接部に対して平行なきずと垂直なきずの両方が一度の走査で感度良く検出できると期待できる。

3. 実験条件および実験方法

本研究で用いた一様渦電流プローブは、励磁コイルの長さが40mm、幅30mm、高さ30mmで、検出コイルは長さ30mm、幅10mm、巻線断面積は1mm²である。

探傷を行った試験体は長さ300mm、幅200mm、高さ10mmのSM490A鋼材であり、その中央に幅が20mm、余盛りの高さが2mmの溶接が施されている。また、溶接部には溶接部と平行な方向と垂直な方向に、放電加工によりつけられたきずがある。

溶接部と平行なきずは長さ10mm、幅0.2mm、深さ2mmであり、図5のように溶接部上の3箇所にある。

溶接部と垂直なきずは長さ10mm、幅0.2mmで深さが3mm、2mm、1mmの3種類のものが溶接部の中央にある。

プローブは図5のように試験体の溶接部の中央に検出コイルの中央がくるように置き、溶接部に沿って走査し探傷を行う。防錆のためのコーティングを想定したリフトオフは試験体の母材部より溶接部の余盛りの高さと同じ2mmとした。また、試験周波数は20kHzとした。

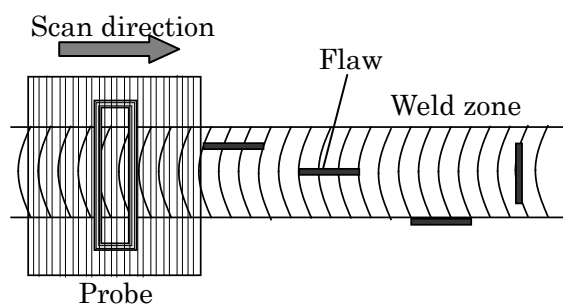
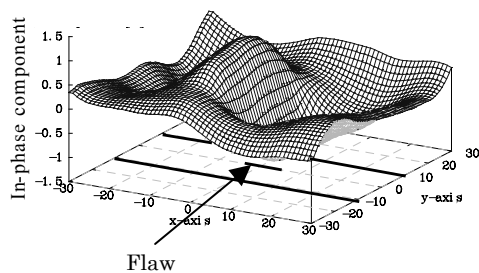


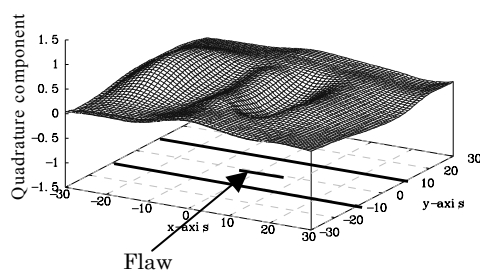
図5 溶接部の探傷方法

4. 実験結果

図6に溶接部に対して平行な深さ2mmのきずを中心に縦横それぞれ-30～+30mmの範囲を2次元探傷したときの信号を示す。きずを中心に信号は逆極性となっており、溶接部



(a) Inphase component

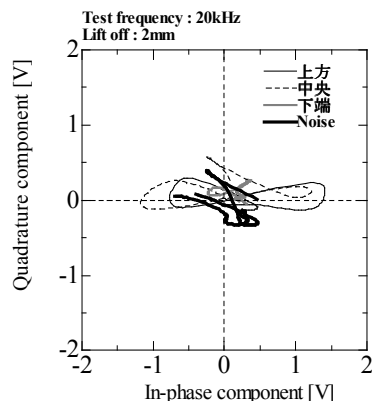


(a) Quadrature component

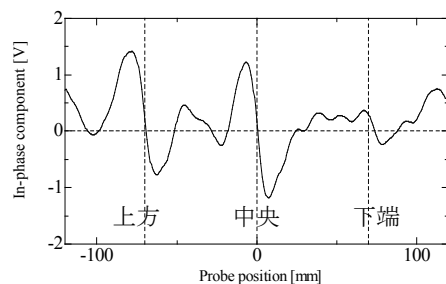
図 6 2次元探傷したときのきず信号

の影響をさほど受けることなく探傷できていることがわかる。

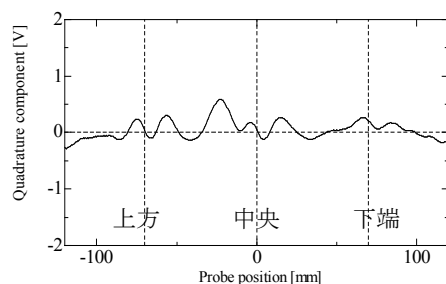
図 7(a)に溶接部に対して平行なきずを直線走査探傷した場合のきず信号パターンを示す。きず信号はきずの中心から-30mm~+30mmの範囲とし、溶接部上のきずの無い箇所の信号を溶接部雑音とした。また、図 7(b)、(c)にはプローブの走査位置に対するきず信号の波形を示す。波形より溶接部雑音が若干出ているが、溶接部の余盛りの中央にあるきずと上方にあるきずは感度良くきず信号がでていることがわかる。溶接部下端部のきずは他の2つのきずと比べて信号振幅は小さくなっている。これは溶接部余盛りのためにきずの位置によってはプローブときずとの距離が違い、下端部のきずの場合にはその距離は2mmとなりきず信号振幅が小さくなってしまいうためである。図 7(a)よりきず信号振幅と雑音振幅より SN 比を算出すると、上方のきずでは $S/N=2.0$ 、中央のきずでは $S/N=2.2$ 、下端のきずでは $S/N=0.6$ となった。



(a) きず信号パターン



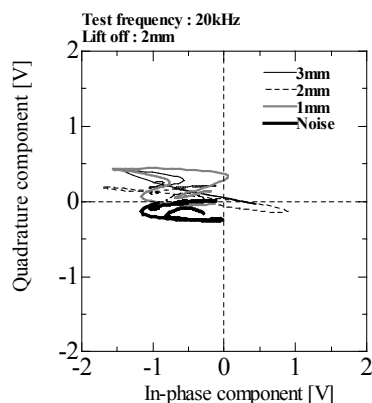
(b) きず信号波形(In-phase)



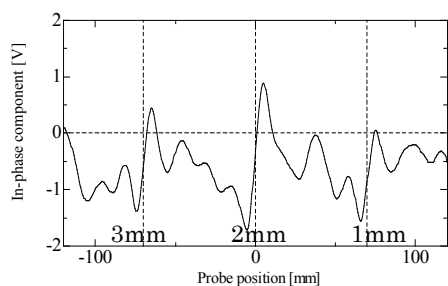
(c) きず信号波形(Quadrature)

図 7 溶接部に対して平行なきずのきず信号

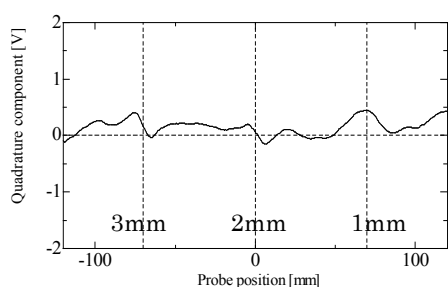
図 8(a)は溶接部に対して垂直なきずを直線走査探傷した場合のきず信号パターンを示す。この場合もきず信号はきずの中心から-30mm~+30mmの範囲とし、溶接部上のきずの無い箇所の信号を溶接部雑音とした。また、図 8(b)、(c)にはプローブの走査位置に対するきず信号の波形を示す。図 8(a)よりきず信号振幅と雑音振幅より SN 比を算出すると、3mm のきずでは $S/N=1.6$ 、2mm のきずでは $S/N=2.3$ 、1mm のきずでは $S/N=1.4$ となった。図 8(b)、(c)の信号波形では、きずのない溶接部雑音は信号振幅の変動は小さいのに対して、きずのある箇所では信号が大きく変動して



(a) きず信号パターン



(b) きず信号波形(In-phase)



(c) きず信号波形(Quadrature)

図 8 溶接部に対して垂直なきずのきず信号

おり、きず深さ 3mm と 2mm では感度良く探傷が可能であることがわかる。

図 9 は溶接部に対して平行な長さ 10mm、幅 0.2mm、深さ 2mm のきずに対して、周波数 20kHz のままでリフトオフを 2mm から 4mm まで 0.5mm ずつ変化させていったときのきず信号とリフトオフ雑音の方向、大きさを表したものである。図 10 はリフトオフを変化させていったときのきず信号振幅の減少とリフトオフ雑音を、きず深さが 2mm のときの信号振幅を 1 として正規化して表したものである。リフトオフが 2mm から 4mm に変化した場合、きず信号振幅は約 0.6 倍に

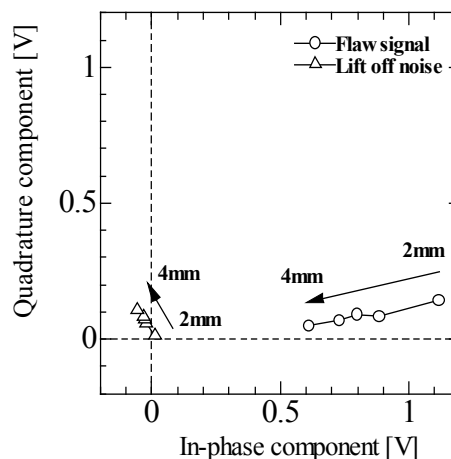


図 9 きず信号とリフトオフ雑音

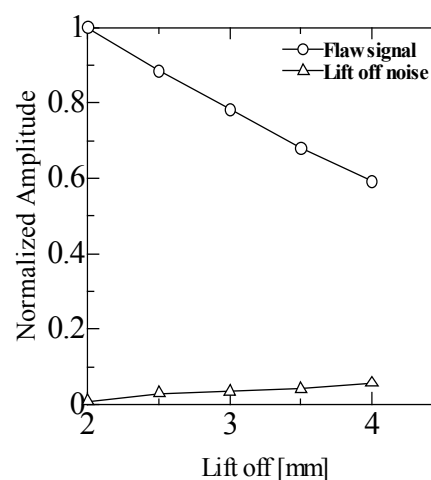


図 10 リフトオフに対するきず信号振幅とリフトオフ雑音

減少してしまうが、リフトオフ雑音はきず信号と比べて十分に小さいことがわかる。

5. おわりに

一様渦電流プローブの検出コイルを溶接幅より長くし、溶接部に沿って探傷を行うことで、溶接部の余盛りの形状による影響を多少受けてしまうが、溶接部に対して平行なきずと垂直なきずの両方を一度の走査で検出できることを確認した。

参考文献

1) 小山潔、前田雅史、星川洋：「一様渦電流プローブによる溶接部の探傷試験について」、保守検査シンポジウム、p.p5-10 (2003)