

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-133459

(P2016-133459A)

(43) 公開日 平成28年7月25日(2016.7.25)

(51) Int.Cl.
G01N 27/90 (2006.01)

F I
G O I N 27/90

テーマコード (参考)
2 G O 5 3

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-9704 (P2015-9704) (22) 出願日 平成27年1月21日 (2015.1.21)</p> <p>特許法第30条第2項適用申請有り 「APSAEM (Asia Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics) 2014」の講演における平成26年7月22日発行の予稿集にて公開された。また、「第23回MAGDAコンファレンス in 高松」の講演における平成26年12月4日発行の予稿集にて公開された。</p>	<p>(71) 出願人 502340996 学校法人法政大学 東京都千代田区富士見二丁目17番1号</p> <p>(71) 出願人 591011775 電子磁気工業株式会社 東京都北区浮間5丁目6番20号</p> <p>(74) 代理人 100090022 弁理士 長門 侃二</p> <p>(72) 発明者 齊藤 兆古 東京都千代田区富士見2-17-1 学校法人法政大学内</p> <p>(72) 発明者 丸山 公希 東京都千代田区富士見2-17-1 学校法人法政大学内</p>
---	--

最終頁に続く

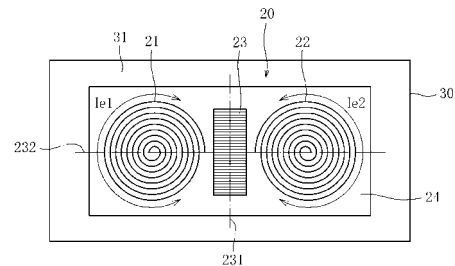
(54) 【発明の名称】 渦流探傷プローブ、渦流探傷装置

(57) 【要約】

【課題】 導体のきずを高精度に検出可能な渦流探傷プローブ及び渦流探傷装置を提供する。

【解決手段】 本発明の渦流探傷プローブ20は、導線を平面状に巻回して形成された第1励磁コイル21と、第1励磁コイル21と逆の巻方向で、導線を平面状に巻回して形成された第2励磁コイル22と、第1励磁コイル21と第2励磁コイル22との間に配置される検出コイル23と、を備え、第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、そのコイル面が導体30の検査面31に平行になるように配置され、検出コイル23は、第1励磁コイル21の中心と第2励磁コイル22の中心とを結ぶ直線232に巻回軸231が直交し、そのコイル面が導体30の検査面31に垂直になるように配置される。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

導線を平面状に巻回して形成された第 1 励磁コイルと、
前記第 1 励磁コイルと逆の巻方向で、導線を平面状に巻回して形成された第 2 励磁コイルと、

前記第 1 励磁コイルと前記第 2 励磁コイルとの間に配置される検出コイルと、を備え、
前記第 1 励磁コイル及び前記第 2 励磁コイルは、そのコイル面が導体の検査面に平行になるように配置され、

前記検出コイルは、前記第 1 励磁コイルの中心と前記第 2 励磁コイルの中心とを結ぶ直線に巻回軸が直交し、そのコイル面が導体の検査面に垂直になるように配置される、渦流探傷プローブ。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の渦流探傷プローブにおいて、前記第 1 励磁コイル及び前記第 2 励磁コイルは、前記検出コイルを挟んで互いに対向する部分の導線が前記検出コイルの巻回軸に平行になる形状をなしている、渦流探傷プローブ。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の渦流探傷プローブにおいて、前記第 1 励磁コイル及び前記第 2 励磁コイルは、平面視で半円となる形状をなしている、渦流探傷プローブ。

【請求項 4】

請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の渦流探傷プローブにおいて、前記第 1 励磁コイル及び前記第 2 励磁コイルは、可撓性を有する、渦流探傷プローブ。

20

【請求項 5】

請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の渦流探傷プローブにおいて、前記検出コイルに内挿された磁性体をさらに備える、渦流探傷プローブ。

【請求項 6】

請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の渦流探傷プローブと、

前記第 1 励磁コイル及び前記第 2 励磁コイルに交流電力を供給する電源装置と、

前記検出コイルに誘起される電圧を測定する電圧測定装置と、を備える渦流探傷装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

30

【0001】

本発明は、導体のきずの検査に用いられる渦流探傷プローブ、該渦流探傷プローブを備える渦流探傷装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

導体のきずを検出する検査方法の一例として、渦流探傷方法が公知である。この渦流探傷方法は、励磁コイルに流れる交流電流によって発生する磁束により導体の内部に渦電流を発生させ、その導体のきずによる渦電流の変化によって生ずる反作用磁束の変化を検出コイルで検出してきずの有無を判定する方法である。例えば割れきず等が導体にあると、そのきずを迂回するように渦電流の流れが変化するので、それによって渦電流により発生する反作用磁束にも変化が生ずる。それによって反作用磁束により検出コイルに誘起される電圧も変化するので、その検出コイルに誘起される電圧の変化からきずの有無を判定することができる。

40

【0003】

このような渦流探傷方法に用いられる渦流探傷プローブの一例として、コイル面が検査面に平行な励磁コイルの内側に、コイル面が検査面に垂直な検出コイルを配置した所謂型プローブと呼ばれる渦流探傷プローブが公知である（例えば特許文献 1 又は 2 を参照）。

【0004】

また渦流探傷方法に用いられる渦流探傷プローブの一例として、極めて小さなきずを高

50

精度に検出することを目的として開発された所謂 型コイルを用いた渦流探傷プローブが公知である。この 型コイルの渦流探傷プローブは、互いに逆向きの電流が流れる2つの励磁コイルをコイル面が検査面に平行になるように並べて配置し、その2つの励磁コイルの間に、コイル面が検査面に垂直な検出コイルを配置したものである（例えば特許文献3～5を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2003-240762号公報

【特許文献2】特開2003-344361号公報

【特許文献3】特開2007-263946号公報

【特許文献4】特開2010-054352号公報

【特許文献5】特開2014-066688号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

型コイルの渦流探傷プローブは、2つの励磁コイルの間に、導体にきずがない状態において磁界がほぼゼロとなる領域が形成され、その領域の磁界の変化を検出コイルで検出してきずの有無を検出するものである。しかしながら従来の 型コイルの渦流探傷プローブにおいて、その磁界がほぼゼロとなる領域の中心は、励磁コイルの高さ方向の中間にある。そのため従来の 型コイルの渦流探傷プローブは、その磁界がほぼゼロとなる領域の中心に、2つの励磁コイルが形成する磁界を乱さないように検出コイルを配置するのが構造的に難しいという課題がある。したがって従来の 型コイルの渦流探傷プローブは、2つの励磁コイルが形成する磁界を乱さないようにするためには、實際上、導体の検査面上に検出コイルを載置せざるを得ず、それによって2つの励磁コイル間の磁界がほぼゼロとなる領域の中心からずれた位置に検出コイルを配置せざるを得ないことになる。

【0007】

このようなことから従来の 型コイルの渦流探傷プローブは、本来得られるはずのS/N比（きずを検出している状態で検出コイルに誘起される電圧ときずを検出してない状態で検出コイルに誘起される電圧との比）より小さいS/N比しか得られないことになる。つまり従来の 型コイルの渦流探傷プローブは、その構造上、本来の能力を十分に発揮することができず、本来得られるはずのきず検出精度が実際上十分に得られないという課題がある。

【0008】

このような状況に鑑み本発明はなされたものであり、その目的は、導体のきずを高精度に検出可能な渦流探傷プローブ及び渦流探傷装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

<本発明の第1の態様>

本発明の第1の態様は、導線を平面状に巻回して形成された第1励磁コイルと、前記第1励磁コイルと逆の巻方向で、導線を平面状に巻回して形成された第2励磁コイルと、前記第1励磁コイルと前記第2励磁コイルとの間に配置される検出コイルと、を備え、前記第1励磁コイル及び前記第2励磁コイルは、そのコイル面が導体の検査面に平行になるように配置され、前記検出コイルは、前記第1励磁コイルの中心と前記第2励磁コイルの中心とを結ぶ直線に巻回軸が直交し、そのコイル面が導体の検査面に垂直になるように配置される渦流探傷プローブである。

ここで「コイル面」とは、コイルの巻線で囲まれた開口面であり、換言すれば、コイル軸（コイルの中心軸）と直交する面をいう。

【0010】

コイル面が導体の検査面に平行になるように配置される第1励磁コイル及び第2励磁コ

10

20

30

40

50

イルは、導線を平面状に巻回して形成されている。そのため第1励磁コイル及び第2励磁コイルを導体の検査面上に配置することで、第1励磁コイルと第2励磁コイルとの間に形成される磁界がほぼゼロとなる領域、すなわち導体にきずがない状態において磁界がほぼゼロとなる領域は、その中心が導体の検査面に極めて近い位置となる範囲に形成されることになる。それによって第1励磁コイルと第2励磁コイルとの間に配置される検出コイルは、導体の検査面上に配置することで、その磁界がほぼゼロとなる領域の中心に配置されることになる。

【0011】

つまり本発明に係る渦流探傷プローブは、第1励磁コイル及び第2励磁コイルが形成する磁界を乱さないように、第1励磁コイルと第2励磁コイルの間の磁界がほぼゼロとなる領域の中心に検出コイルを配置することができる。それによって本発明に係る渦流探傷プローブは、型コイルの本来の能力を十分に発揮させることが可能になり、それによって本来得られるべき高いS/N比(きずを検出している状態で検出コイルに誘起される電圧ときずを検出してない状態で検出コイルに誘起される電圧との比)を実現することができる。

10

【0012】

これにより本発明の第1の態様によれば、導体のきずを高精度に検出可能な渦流探傷プローブを提供することができるという作用効果が得られる。

【0013】

<本発明の第2の態様>

20

本発明の第2の態様は、前述した本発明の第1の態様において、前記第1励磁コイル及び前記第2励磁コイルは、前記検出コイルを挟んで互に対向する部分の導線が前記検出コイルの巻回軸に平行になる形状をなしている渦流探傷プローブである。

本発明の第2の態様は、第1励磁コイルと第2励磁コイルとの間の磁界がほぼゼロとなる領域を検出コイルの巻回軸に沿う方向へ拡大することができるので、検出コイルによる導体のきずの検出感度をさらに向上させることができる。したがって本発明の第2の態様によれば、導体のきずの検出精度をさらに向上させることができる。

【0014】

<本発明の第3の態様>

本発明の第3の態様は、前述した本発明の第2の態様において、前記第1励磁コイル及び前記第2励磁コイルは、平面視で半円となる形状をなしている渦流探傷プローブである。

30

本発明の第3の態様によれば、第1励磁コイルと第2励磁コイルとの間の磁界がほぼゼロとなる領域を検出コイルの巻回軸に沿う方向へ効率的に拡大することができる。

【0015】

<本発明の第4の態様>

本発明の第4の態様は、前述した本発明の第1～第3の態様のいずれかにおいて、前記第1励磁コイル及び前記第2励磁コイルは、可撓性を有する渦流探傷プローブである。

第1励磁コイル及び第2励磁コイルは、可撓性を有することによって、例えば鋼管等の曲面を有する被検査体に対しても、その曲面に沿うように撓ませて配置することができる。したがって本発明の第4の態様によれば、検査面が曲面である導体においてもきずを高精度に検出することができる。

40

【0016】

<本発明の第5の態様>

本発明の第5の態様は、前述した本発明の第1～第4の態様のいずれかにおいて、前記検出コイルに内挿された磁性体をさらに備える渦流探傷プローブである。

第1励磁コイルと第2励磁コイルとの間の検出コイルが配置される領域は、磁界がほぼゼロとなる。したがって検出コイルには、第1励磁コイル及び第2励磁コイルによる磁界を乱さずにフェライトコア等の磁性体からなる鉄心を内挿することができる。そしてフェライトコア等の磁性体からなる鉄心を検出コイルに内挿することによって、透磁率が大き

50

くなり検出コイルに磁束が通りやすくなる。それによって導体のきずの検出感度をさらに向上させることができるので、導体のきずをさらに高精度に検出することができる。

【0017】

<本発明の第6の態様>

本発明の第6の態様は、前述した本発明の第1～第5の態様のいずれかの渦流探傷プローブと、前記第1励磁コイル及び前記第2励磁コイルに交流電力を供給する電源装置と、前記検出コイルに誘起される電圧を測定する電圧測定装置と、を備える渦流探傷装置である。

本発明の第6の態様によれば、渦流探傷装置において、前述した本発明の第1～第5の態様のいずれかと同様の作用効果が得られる。

10

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、導体のきずを高精度に検出可能な渦流探傷プローブ及び渦流探傷装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明に係る渦流探傷装置の構成を図示したブロック図。

【図2】第1実施例の渦流探傷プローブの平面図。

【図3】第1実施例の渦流探傷プローブの正面図。

【図4】励磁電流により生じる磁束を模式的に図示した第1実施例の渦流探傷プローブの正面図。

20

【図5】導体にきずがない状態における渦電流を模式的に図示した平面図。

【図6】導体にきずがある状態における渦電流を模式的に図示した平面図。

【図7】第2実施例の渦流探傷プローブの平面図。

【図8】第3実施例の渦流探傷プローブの平面図。

【図9】従来の渦流探傷プローブの検出コイルに誘起される電圧の波形図。

【図10】本発明の渦流探傷プローブの検出コイルに誘起される電圧の波形図。

【図11】従来の渦流探傷プローブの平面図。

【図12】従来の渦流探傷プローブの正面図。

【図13】従来の渦流探傷プローブで鋼管のきずを検出している状態を図示した正面図。

30

【図14】本発明の渦流探傷プローブで鋼管のきずを検出している状態を図示した正面図。

【図15】従来の渦流探傷プローブの検出コイルに誘起される電圧の波形図。

【図16】本発明の渦流探傷プローブの検出コイルに誘起される電圧の波形図。

【図17】第2実施例の渦流探傷プローブの検出コイルに誘起される電圧の波形図。

【図18】第3実施例の渦流探傷プローブの検出コイルに誘起される電圧の波形図。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。

尚、本発明は、以下説明する実施例に特に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲内で種々の変形が可能であることは言うまでもない。

40

【0021】

<渦流探傷装置の構成>

本発明に係る渦流探傷装置10の構成について、図1を参照しながら説明する。

図1は、渦流探傷装置10の構成を図示したブロック図である。

【0022】

本発明に係る渦流探傷装置10は、交流電源11、電圧測定装置12、表示部13及び渦流探傷プローブ20を備える。

【0023】

渦流探傷プローブ20は、第1励磁コイル21、第2励磁コイル22及び検出コイル2

50

3を含む。第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、励磁電流による磁束を発生させ、それによって導体に渦電流を発生させるためのコイルである。第1励磁コイル21と第2励磁コイル22は、巻方向が逆になっている。検出コイル23は、導体に流れる渦電流によって発生する反作用磁束を検出するためのコイルである。

【0024】

「電源装置」としての交流電源11は、第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22に任意の電圧及び周波数の交流電力を供給する。電圧測定装置12は、例えば電圧計等の電圧測定機器を含み、反作用磁束によって検出コイル23に誘起される電圧を測定する。表示部13は、例えば液晶ディスプレイ等の表示機器を含み、電圧測定装置12が測定した検出コイル23の誘起電圧波形を表示する。制御部14は、公知のマイコン制御回路であり、交流電源11、電圧測定装置12及び表示部13を制御する。

10

【0025】

<渦流探傷プローブの第1実施例>

本発明に係る渦流探傷プローブ20の第1実施例について、図2～図6を参照しながら説明する。

【0026】

図2は、第1実施例の渦流探傷プローブ20の平面図である。図3は、第1実施例の渦流探傷プローブ20の正面図である。

【0027】

渦流探傷プローブ20は、所定の間隔(リフトオフ)をもって導体30の検査面31の上に配置される。第1励磁コイル21は、導線を平面状に巻回して形成されており、平面視が円形状の渦巻き状のコイルである。第2励磁コイル22は、同様に導線を平面状に巻回して形成されており、平面視が円形状の渦巻き状のコイルである。第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、そのコイル面が導体30の検査面31に平行になるように配置される。また第2励磁コイル22は、第1励磁コイル21と逆の巻方向で巻かれている。したがって第2励磁コイル22には、第1励磁コイル21に流れる励磁電流 I_{e1} と逆方向の励磁電流 I_{e2} が流れる。この第1励磁コイル21と第2励磁コイル22の平面視の形状は、円形の渦巻き状に特に限定されるものではなく、例えば矩形の渦巻き状等、どのような渦巻き形状でもよい。また第1励磁コイル21と第2励磁コイル22は、同じ形状(あるいは左右対称形状)及び同じ大きさで、同じ巻数のコイルとするのが好ましい。

20

30

【0028】

検出コイル23は、巻回軸231を中心として導線を巻くことにより形成されており、断面形状が矩形形状のコイルである。検出コイル23は、第1励磁コイル21と第2励磁コイル22との間に配置される。より具体的には検出コイル23は、第1励磁コイル21の中心と第2励磁コイル22の中心とを結ぶ直線232に巻回軸231が直交し、そのコイル面が導体30の検査面31に垂直になるように配置される。検出コイル23は、当該実施例においては断面が矩形形状のコイルであるが、例えば円環形状のコイル等、どのような形状のコイルであってもよい。

【0029】

絶縁シート24は、絶縁性を有する材料で形成されたシート状の部材であり、導体30の検査面31の上に載置される。そして第1励磁コイル21、第2励磁コイル22及び検出コイル23は、絶縁シート24の上に載置される。それによって第1励磁コイル21、第2励磁コイル22及び検出コイル23と導体30の検査面31とが電氣的に絶縁される。また導体30の検査面31に対する渦流探傷プローブ20のリフトオフは、絶縁シート24の厚みによって規定される。

40

【0030】

第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、可撓性を有する態様で配置されるのが好ましい。これは本発明に必須の構成要素ではないが、例えば鋼管等の曲面を有する被検査体に対しても、その曲面に沿うように第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22をフレキシブルに変形させて配置することができる。それによって鋼管等の曲面を有する被検

50

査体においてもリフトオフを一定に維持してきずを高精度に検出することができる。このような可撓性を有する第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、より具体的には、例えば可撓性を有する材料で絶縁シート24を形成し、その絶縁シート24の表面に導線でコイルを形成してもよいし、可撓性を有する樹脂シートの内部に導線でコイルを形成して導体30の検査面31の上に載置してもよい。

【0031】

図4は、第1実施例の渦流探傷プローブ20の正面図であり、励磁電流 I_{e1} と励磁電流 I_{e2} によって生じる磁束を模式的に図示したものである。図5及び図6は、第1実施例の渦流探傷プローブ20の平面図である。図5は、導体30にきず32がない状態において導体30に流れる渦電流を模式的に図示したものであり、図6は、導体30にきず32がある状態において導体30に流れる渦電流を模式的に図示したものである。

10

【0032】

第1励磁コイル21に流れる励磁電流 I_{e1} と第2励磁コイル22に流れる励磁電流 I_{e2} は、互いに相反する方向に流れる電流である。そのため渦流探傷プローブ20及び導体30には、図4に図示したような磁束分布が生ずる。また図4に図示した磁束の方向は、交流電流である励磁電流の極性の反転に応じて反転することになる。

【0033】

導体30には、第1励磁コイル21に流れる励磁電流 I_{e1} により生ずる磁束によって、その励磁電流 I_{e1} と逆方向の渦電流が流れる。また導体30には、第2励磁コイル22に流れる励磁電流 I_{e2} により生ずる磁束によって、その励磁電流と逆方向の渦電流が流れる。そして第1励磁コイル21に対して第2励磁コイル22は逆の巻方向で巻かれているので、第1励磁コイル21により生ずる渦電流と第2励磁コイル22により生ずる渦電流は、その電流の方向が逆方向になる。そのため第1励磁コイル21により生ずる渦電流と第2励磁コイル22により生ずる渦電流との境界近傍には、検査面31に平行で、かつ第1励磁コイル21の中心と第2励磁コイル22の中心とを結ぶ直線232に対して直交する方向に渦電流の流れが生ずる(図5)。つまり検査面31に平行で、かつ第1励磁コイル21の中心と第2励磁コイル22の中心とを結ぶ直線232に対して直交する方向に流れる強い渦電流が、検出コイル23の中心(巻回軸231)に沿って発生する。

20

【0034】

そして渦電流による反作用磁束は、その渦電流に直交する方向にしか生じない。そのため第1励磁コイル21により生ずる渦電流と第2励磁コイル22により生ずる渦電流との境界近傍において、その渦電流による反作用磁束は、全て検出コイル23のコイル面に平行な磁束となる。したがって導体30にきずがない状態では、符合(符合A)で図示した領域において、検出コイル23のコイル面に交差する方向の磁界がほぼゼロとなるので、検出コイル23に誘起される電圧がほぼゼロとなる。

30

【0035】

他方、第1励磁コイル21により生ずる渦電流と第2励磁コイル22により生ずる渦電流との境界近傍において、導体30にきず32があるときには、その部分の渦電流はそのきず32を迂回するように流れる(図6)。それによってそのきず32の部分には、検出コイル23のコイル面に交差する方向の反作用磁束が生ずることになる。つまり導体30にきず32があるときは、検出コイル23に電圧が誘起されることになる。

40

【0036】

このように渦流探傷プローブ20は、導体30にきず32がない状態では検出コイル23の誘起電圧は常にほぼゼロであり、導体30にきず32があるときだけ、検出コイル23に誘起電圧が生ずる。つまり渦流探傷プローブ20は、検出コイル23に生ずる誘起電圧の有無によって導体30のきず32の有無を判定することができる。

【0037】

そして前述したように、コイル面が導体30の検査面31に平行になるように配置される第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、導線を平面状に巻回して形成されている。そのため第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22を導体30の検査面31上に配

50

置することで、第1励磁コイル21と第2励磁コイル22との間に形成される磁界がほぼゼロとなる領域(符合A)、すなわち導体30にきず32がない状態において磁界がほぼゼロとなる領域は、その中心が導体30の検査面31に極めて近い位置となる範囲に形成されることになる。それによって第1励磁コイル21と第2励磁コイル22との間に配置される検出コイル23は、導体30の検査面31上に配置することで、その磁界がほぼゼロとなる領域(符合A)の中心に配置されることになる。

【0038】

つまり本発明に係る渦流探傷プローブ20は、第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22が形成する磁界を乱さないように、第1励磁コイル21と第2励磁コイル22の間の磁界がほぼゼロとなる領域(符合A)の中心に検出コイル23を配置することができる。それによって本発明に係る渦流探傷プローブ20は、型コイルの本来の能力を十分に発揮させることが可能になり、それによって本来得られるべき高いS/N比(きず32を検出している状態で検出コイル23に誘起される電圧ときず32を検出してない状態で検出コイル23に誘起される電圧との比)を実現することができる。したがって本発明によれば、導体30のきず32を高精度に検出可能な渦流探傷プローブ20を提供することができるという作用効果が得られる。

【0039】

<渦流探傷プローブの第2実施例>

本発明に係る渦流探傷プローブ20の第2実施例について、図7を参照しながら説明する。

図7は、第2実施例の渦流探傷プローブ20の平面図である。

第2実施例の渦流探傷プローブ20は、第1実施例に加えて、検出コイル23に内挿された磁性体25をさらに備える。磁性体25は、断面が矩形の柱体形状であり、例えばフェライトコア等の磁性体からなる鉄心である。それ以外の渦流探傷プローブ20の構成は、第1実施例と同様であるため、同一の構成要素に同一の符合を付して詳細な説明を省略する。

尚、磁性体25は、当該実施例においては断面が矩形の柱体形状の磁性体であるが、例えば円柱体形状のフェライトコア等、どのような形状の磁性体であってもよい。

【0040】

本発明に係る渦流探傷プローブ20は、第1励磁コイル21と第2励磁コイル22との間の検出コイル23が配置される領域は磁界がほぼゼロとなるので、第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22による磁界を乱さずに磁性体25を検出コイル23に内挿することができる。そして磁性体25を検出コイル23に内挿することによって、透磁率が大きくなり検出コイル23に磁束が通りやすくなる。それによって導体30のきず32の検出感度をさらに向上させることができるので、導体30のきず32をさらに高精度に検出することができる。

【0041】

<渦流探傷プローブの第3実施例>

本発明に係る渦流探傷プローブ20の第3実施例について、図8を参照しながら説明する。

図8は、第3実施例の渦流探傷プローブ20の平面図である。

第3実施例の渦流探傷プローブ20は、第1実施例及び第2実施例に対して、第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22の巻形状が相違している。それ以外の渦流探傷プローブ20の構成は、第2実施例と同様であるため、同一の構成要素に同一の符合を付して詳細な説明を省略する。

【0042】

第3実施例の第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、検出コイル23を挟んで互いに対向する部分の導線が検出コイル23の巻回軸231に平行になる形状をなしている。より具体的には第3実施例においては、第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22が図示の如く平面視で半円となる左右対称形状をなしている。このような構成であること

によって第3実施例の渦流探傷プローブ20は、第1励磁コイル21と第2励磁コイル22との間の磁界がほぼゼロとなる領域(符合A)を検出コイル23の巻回軸231に沿う方向へ拡大することができる。それによって第3実施例の渦流探傷プローブ20は、検出コイル23によるきず32の検出感度をさらに向上させることができる。また第3実施例の渦流探傷プローブ20は、特に第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22の形状を平面視で半円となる左右対称形状とすることによって、第1励磁コイル21と第2励磁コイル22との間の磁界がほぼゼロとなる領域(符合A)を検出コイル23の巻回軸231に沿う方向へ効率的に拡大することができる。

【0043】

< 確認実験 >

出願人は、本発明に係る渦流探傷プローブ20の効果を確認すべく、渦流探傷装置10を用いて以下の確認実験1~3を行った。

【0044】

1. 確認実験1

確認実験1においては、従来の渦流探傷プローブ40と本発明に係る渦流探傷プローブ20の第2実施例について、平坦な導体30のきず32を検出して検出感度を対比した。

【0045】

(1) 従来の渦流探傷プローブ40の構成

まず確認実験1に用いる従来の渦流探傷プローブ40の構成について、図11及び図12を参照しながら説明する。

図11は、従来の渦流探傷プローブ40の平面図である。図12は、従来の渦流探傷プローブ40の正面図である。

【0046】

従来の渦流探傷プローブ40は、第1励磁コイル41、第2励磁コイル42、検出コイル43、絶縁シート44を備える。第1励磁コイル41は、円環形状のコイルであり、導体30の検査面31に対してコイル面が平行になるように配置される。第2励磁コイル42は、円環形状のコイルであり、第1励磁コイル41に対して検査面31に沿う方向に隣り合う位置に、検査面31に対してコイル面が平行になるように配置される。また第2励磁コイル42は、第1励磁コイル41と逆の巻方向で巻かれている。

【0047】

検出コイル43は、巻回軸431を中心として導線を巻くことにより形成されており、断面形状が矩形形状のコイルである。検出コイル43は、第1励磁コイル41と第2励磁コイル42との間に配置される。より具体的には検出コイル43は、第1励磁コイル41の中心と第2励磁コイル42の中心とを結ぶ直線432に巻回軸431が直交し、そのコイル面が導体30の検査面31に垂直になるように配置される。

【0048】

絶縁シート44は、絶縁性を有する材料で形成されたシート状の部材であり、導体30の検査面31の上に載置される。そして第1励磁コイル41、第2励磁コイル42及び検出コイル43は、絶縁シート44の上に載置される。それによって第1励磁コイル41、第2励磁コイル42及び検出コイル43と導体30の検査面31とが電氣的に絶縁される。また導体30の検査面31に対するリフトオフは、絶縁シート44の厚みによって規定される。

【0049】

(2) 第1励磁コイル及び第2励磁コイル

従来の渦流探傷プローブ40の第1励磁コイル41及び第2励磁コイル42は、いずれも直径0.4mmの巻線を20ターン巻いて、内径17.0mm、外径21.0mm、高さ8.0mmの円環状のコイルとした。

本発明に係る渦流探傷プローブ20の第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、従来の渦流探傷プローブ40と同条件になるように、いずれも直径0.4mmの巻線を20ターン巻いて形成し、内径3.0mm、外径22.0mm、高さ0.4mmの渦巻き状

10

20

30

40

50

のコイルとした。

【0050】

(3) 検出コイル

従来の渦流探傷プローブ40の検出コイル43と本発明に係る渦流探傷プローブ20の検出コイル23は、同条件になるように、全く同じ構成とした。具体的には検出コイル23、検出コイル43は、いずれも直径0.4mmの巻線を100ターン巻いて形成し、内径1.0mm×2.0mm、外径1.4mm×2.4mm、長さ6mmの矩形形状のコイルとした。また従来の渦流探傷プローブ40の検出コイル43には、Mn-Zn系フェライト材料で形成された磁性体45を内挿し、本発明に係る渦流探傷プローブ20の検出コイル23には、同様にMn-Zn系フェライト材料で形成された同形状の磁性体25を内挿した。

10

【0051】

(4) 導体30の構成及び実験手順

導体30は、厚さ約1mmの平面銅板とし、幅2mm、長さ100mmのスリット状の欠損を設け、それを導体30のきず32とした。またリフトオフは0.2mmとした。交流電源11から第1励磁コイル21、41及び第2励磁コイル22、42へ印加する交流電圧は、1V(ピーク値)の交流電圧とし、周波数は、渦流探傷において標準的に用いられている256KHzとした。そして導体30にきず32がない状態、及び導体30にきず32がある状態について、検出コイル23、43の誘起電圧波形をそれぞれ観測し、さらにS/N比を算出した。導体30にきず32がある状態において、検出コイル23の巻回軸231、検出コイル43の巻回軸431に対するきず32の角度は45度とした。

20

【0052】

(5) 実験結果及び考察

図9は、従来の渦流探傷プローブ40の検出コイル43の誘起電圧波形である。図9において一点鎖線の波形は、導体30にきず32がない状態における検出コイル43の誘起電圧波形であり、実線の波形は、導体30にきず32がある状態における検出コイル43の誘起電圧波形である。図10は、本発明に係る渦流探傷プローブ20の検出コイル23の誘起電圧波形である。図10において一点鎖線の波形は、導体30にきず32がない状態における検出コイル23の誘起電圧波形であり、実線の波形は、導体30にきず32がある状態における検出コイル23の誘起電圧波形である。

30

【0053】

図9及び図10から明らかなように、従来の渦流探傷プローブ40の誘起電圧よりも本発明に係る渦流探傷プローブ20の誘起電圧の方が高い電圧となった。また従来の渦流探傷プローブ40のS/N比(きず32を検出している状態で検出コイル43に誘起される電圧ときず32を検出してない状態で検出コイル43に誘起される電圧との比)は、7.93~10.79であった。それに対して本発明に係る渦流探傷プローブ20のS/N比(きず32を検出している状態で検出コイル23に誘起される電圧ときず32を検出してない状態で検出コイル23に誘起される電圧との比)は、10.89~12.30であった。

【0054】

以上の結果から、従来の渦流探傷プローブ40よりも本発明に係る渦流探傷プローブ20の方が導体30のきず32を高精度に検出できることが確認された。このようにして本発明によれば、導体30のきず32を高精度に検出可能な渦流探傷プローブ20を提供することができる。

40

【0055】

2. 確認実験2

確認実験2においては、従来の渦流探傷プローブ40(図11及び図12)と本発明に係る渦流探傷プローブ20の第2実施例(図7)について、鋼管50の外周面51のきず52を検出して検出感度を対比した。

図13は、従来の渦流探傷プローブ40で鋼管50の外周面51のきず52を検出して

50

いる状態を図示した正面図である。

図14は、本発明に係る渦流探傷プローブ20で鋼管50の外周面51のきず52を検出している状態を図示した正面図である。より具体的には本発明に係る渦流探傷プローブ20は、リフトオフが一定に維持されるように、鋼管50の外周面に沿って第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22を変形させて配置した。

【0056】

(1) 従来の渦流探傷プローブ40の構成

確認実験2において従来の渦流探傷プローブ40の構成は、確認実験1と同じ構成とした。

【0057】

(2) 第1励磁コイル及び第2励磁コイル

確認実験2において、従来の渦流探傷プローブ40の第1励磁コイル41及び第2励磁コイル42、本発明に係る渦流探傷プローブ20の第1励磁コイル21及び第2励磁コイル22は、いずれも確認実験1と同じ構成とした。

【0058】

(3) 検出コイル

確認実験2において、従来の渦流探傷プローブ40の検出コイル43、本発明に係る渦流探傷プローブ20の検出コイル23は、いずれも確認実験1と同じ構成とした。

【0059】

(4) 鋼管50の構成及び実験手順

鋼管50は、外径82mm、内径54mmのシームレス管とし、幅0.3mm、長さ10mmの欠損を外周面51に設け、それをきず52とした。またリフトオフは0.2mmとした。交流電源11から第1励磁コイル21、41及び第2励磁コイル22、42へ印加する交流電圧は、確認実験1と同様に、1V(ピーク値)の交流電圧とし、周波数は、渦流探傷において標準的に用いられている256kHzとした。そして鋼管50の外周面51にきず52がない状態、及び鋼管50の外周面51にきず52がある状態について、検出コイル23、43の誘起電圧波形をそれぞれ観測し、さらにS/N比を算出した。鋼管50の外周面51にきず52がある状態において、検出コイル23の巻回軸231、検出コイル43の巻回軸431に対するきず52の角度は45度とした。

【0060】

(5) 実験結果及び考察

図15は、従来の渦流探傷プローブ40の検出コイル43の誘起電圧波形である。図15において一点鎖線の波形は、鋼管50の外周面51にきず52がない状態における検出コイル43の誘起電圧波形であり、実線の波形は、鋼管50の外周面51にきず52がある状態における検出コイル43の誘起電圧波形である。図16は、本発明に係る渦流探傷プローブ20の検出コイル23の誘起電圧波形である。図16において一点鎖線の波形は、鋼管50の外周面51にきず52がない状態における検出コイル23の誘起電圧波形であり、実線の波形は、鋼管50の外周面51にきず52がある状態における検出コイル23の誘起電圧波形である。

【0061】

図15及び図16から明らかなように、従来の渦流探傷プローブ40の誘起電圧よりも本発明に係る渦流探傷プローブ20の誘起電圧の方が高い電圧となった。また従来の渦流探傷プローブ40のS/N比(きず52を検出している状態で検出コイル43に誘起される電圧ときず52を検出してない状態で検出コイル43に誘起される電圧との比)は、3.62であった。それに対して本発明に係る渦流探傷プローブ20のS/N比(きず52を検出している状態で検出コイル23に誘起される電圧ときず52を検出してない状態で検出コイル23に誘起される電圧との比)は、7.33であった。

【0062】

以上の結果から、鋼管50の外周面51のきず52を検出する場合においても、従来の渦流探傷プローブ40よりも本発明に係る渦流探傷プローブ20の方がきず52を高精度

10

20

30

40

50

に検出できることが確認された。このようにして本発明によれば、鋼管 50 の外周面 51 のきず 52 を検出する場合においても、きず 52 を高精度に検出可能な渦流探傷プローブ 20 を提供することができる。

【0063】

3. 確認実験 3

確認実験 3 においては、本発明に係る渦流探傷プローブ 20 の第 2 実施例（図 7）と第 3 実施例（図 8）について、平坦な導体 30 のきず 32 を検出して検出感度をそれぞれ測定した。

【0064】

（1）第 1 励磁コイル及び第 2 励磁コイル

確認実験 3 において、第 2 実施例の渦流探傷プローブ 20 の第 1 励磁コイル 21 及び第 2 励磁コイル 22 は、直径 0.3 mm の巻線を 20 ターン巻いて形成し、内径 0.5 mm、外径 9.0 mm、高さ 0.3 mm の平面視が円形状となる渦巻き状のコイルとした。第 3 実施例の渦流探傷プローブ 20 の第 1 励磁コイル 21 及び第 2 励磁コイル 22 は、直径 0.3 mm の巻線を 20 ターン巻いて形成し、内径 1.0 mm、外径 18.0 mm、高さ 0.3 mm の平面視が半円形状となる渦巻き状のコイルとした。

【0065】

（2）検出コイル

確認実験 3 において、第 2 実施例及び第 3 実施例の渦流探傷プローブ 20 の検出コイル 23 は、いずれも確認実験 1 と同じ構成とした。

【0066】

（3）導体 30 の構成及び実験手順

確認実験 3 は、導体 30 の構成を確認実験 1 と同じ構成とし、確認実験 1 と同じ手順で行った。

【0067】

（4）実験結果及び考察

図 17 は、第 2 実施例の渦流探傷プローブ 20 における検出コイル 23 の誘起電圧波形であり、図 18 は、第 3 実施例の渦流探傷プローブ 20 における検出コイル 23 の誘起電圧波形である。図 17 及び図 18 において一点鎖線の波形は、導体 30 にきず 32 がない状態における検出コイル 23 の誘起電圧波形であり、実線の波形は、導体 30 にきず 32 がある状態における検出コイル 23 の誘起電圧波形である。

【0068】

図 17 及び図 18 から明らかなように、第 2 実施例の渦流探傷プローブ 20 の誘起電圧よりも第 3 実施例の渦流探傷プローブ 20 の誘起電圧の方が高い電圧となった。また第 2 実施例の渦流探傷プローブ 20 の S/N 比（きず 32 を検出している状態で検出コイル 23 に誘起される電圧ときず 32 を検出していない状態で検出コイル 23 に誘起される電圧との比）は、4.2 であった。他方、第 2 実施例の渦流探傷プローブ 20 の S/N 比は、7.08 であった。以上の結果から、平面視が円形状となる渦巻き状の励磁コイルを用いた第 2 実施例の渦流探傷プローブ 20 よりも、平面視が半円形状となる渦巻き状の励磁コイルを用いた第 3 実施例の渦流探傷プローブ 20 の方が、導体 30 のきず 32 をより高精度に検出できることが確認された。

【符号の説明】

【0069】

- 10 渦流探傷装置
- 11 交流電源
- 12 電圧測定装置
- 13 表示部
- 14 制御部
- 20 渦流探傷プローブ
- 21 第 1 励磁コイル

10

20

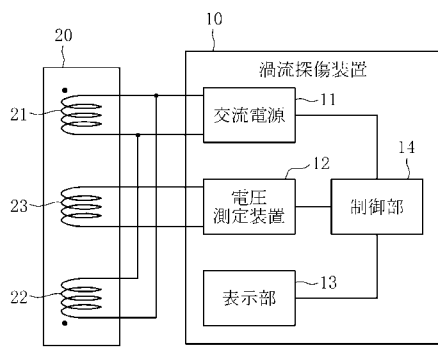
30

40

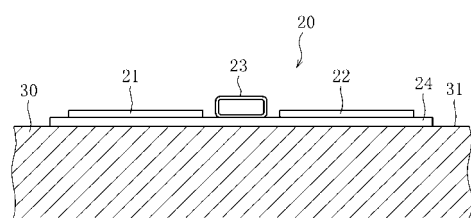
50

- 2 2 第 2 励磁コイル
- 2 3 検出コイル
- 2 4 絶縁シート
- 2 5 磁性体
- 3 0 導体
- 5 0 鋼管

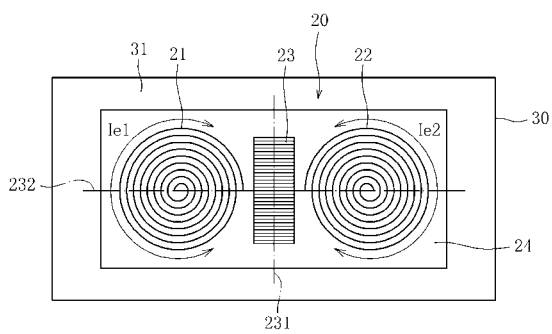
【 図 1 】



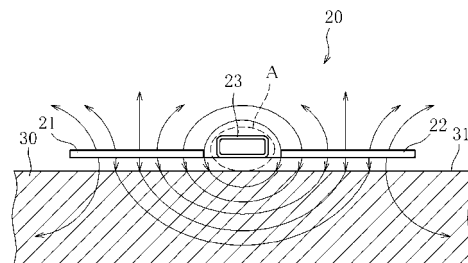
【 図 3 】



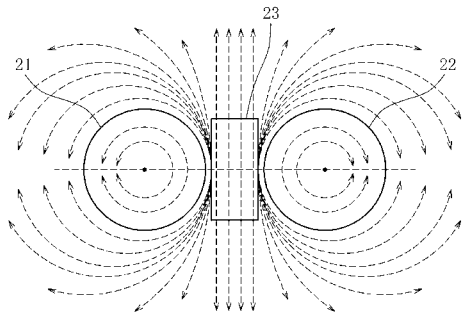
【 図 2 】



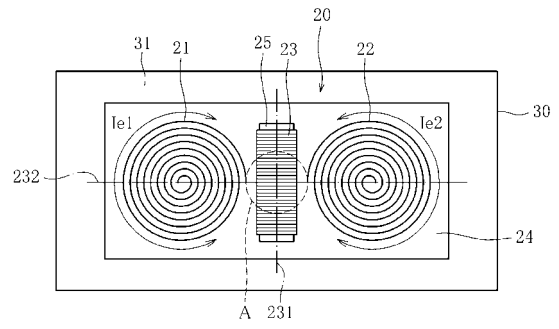
【 図 4 】



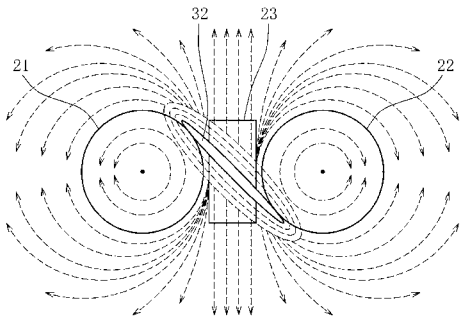
【 図 5 】



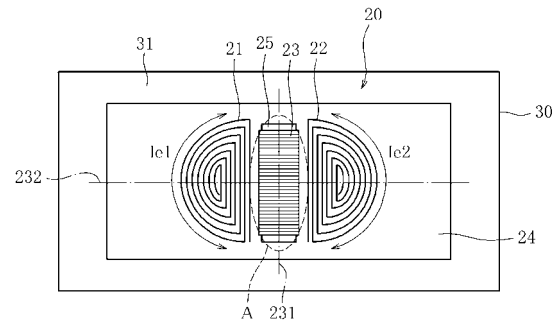
【 図 7 】



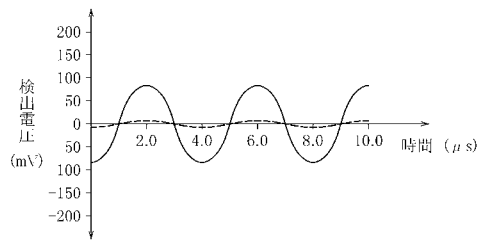
【 図 6 】



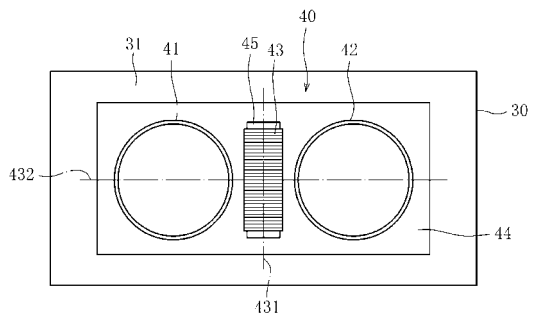
【 図 8 】



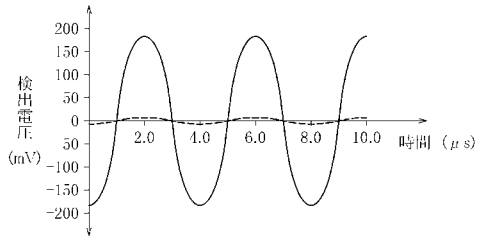
【 図 9 】



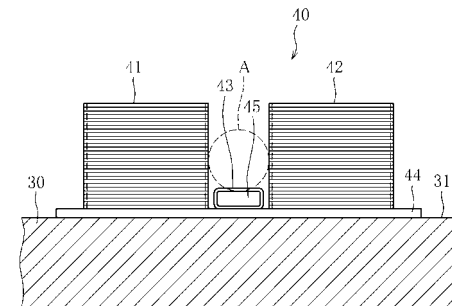
【 図 1 1 】



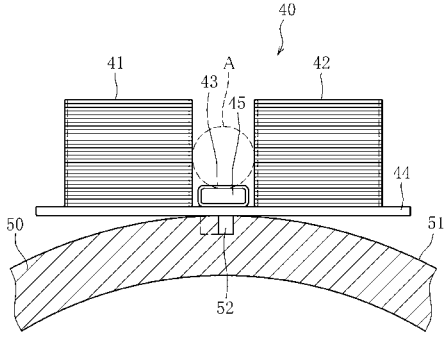
【 図 1 0 】



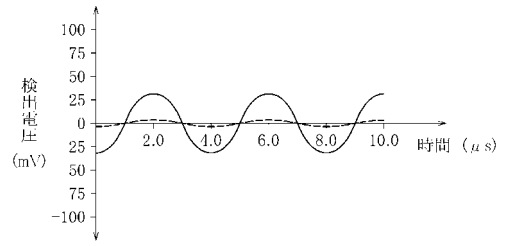
【 図 1 2 】



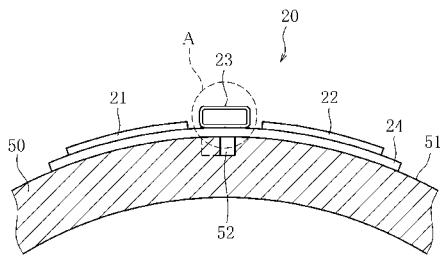
【図 13】



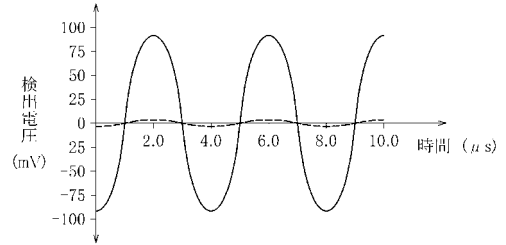
【図 15】



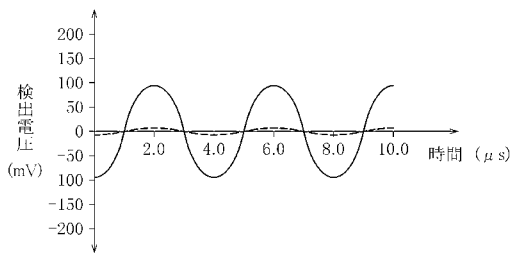
【図 14】



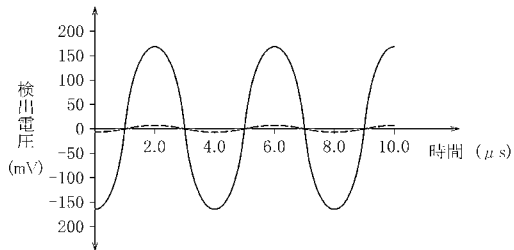
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

- (72)発明者 濱中 峻一
東京都千代田区富士見 2 - 1 7 - 1 学校法人法政大学内
- (72)発明者 石川 直杜
東京都千代田区富士見 2 - 1 7 - 1 学校法人法政大学内
- (72)発明者 児島 隆治
東京都北区浮間 5 丁目 6 番地 2 0 号 電子磁気工業株式会社内
- (72)発明者 大内 学
東京都北区浮間 5 丁目 6 番地 2 0 号 電子磁気工業株式会社内
- Fターム(参考) 2G053 AA02 AA11 AB21 BC02 BC14 CA03 DA01 DB03