

(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2010-54352

(P2010-54352A)

(43) 公開日 平成22年3月11日(2010.3.11)

(51) Int.Cl.
G01N 27/90

(2006.01)

F1
G01N 27/90テーマコード (参考)
2G053

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2008-219808 (P2008-219808)
(22) 出願日 平成20年8月28日 (2008.8.28)(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(74) 代理人 100077816
弁理士 春日 譲
(72) 発明者 小池 正浩
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
株式会社日立製作所
エネルギー・環境システム研究所内
(72) 発明者 成重 将史
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号
株式会社日立製作所
エネルギー・環境システム研究所内

最終頁に続く

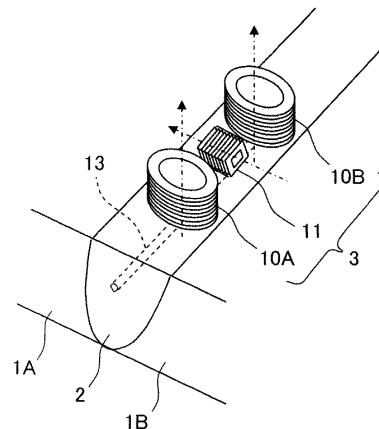
(54) 【発明の名称】 渦電流探傷方法、渦電流探傷プローブ、及び渦電流探傷装置

(57) 【要約】

【課題】 摩擦撹拌接合部の内部キズの検出能を高めることができる渦電流探傷方法、渦電流探傷プローブ、及び渦電流探傷装置を提供する。

【解決手段】 渦電流探傷プローブ3を用いて被検体の摩擦撹拌接合部2を検査する渦電流探傷方法であって、渦電流探傷プローブ3は、互いに逆向きの電流が流れる対の励磁コイル10A、10Bと、これら励磁コイル10A、10Bの間に配置された検出コイル11とを有し、励磁コイル10A、10Bは、コイル軸方向が被検体の検査面に対し略垂直となるように、且つ互いに摩擦撹拌接合部2の接合線長さ方向に離間するように配置し、検出コイル11は、コイル軸方向が被検体の検査面に対し略平行となるように且つ摩擦撹拌接合部2の接合線長さ方向に対し略垂直となるように配置する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

渦電流探傷プローブを用いて被検体の摩擦撹拌接合部を検査する渦電流探傷方法であって、

前記渦電流探傷プローブは、互いに逆向きの電流が流れる対の励磁コイルと、前記対の励磁コイルの間に配置された検出コイルとを有し、

前記対の励磁コイルは、コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略垂直となるように、且つ互いに前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に離間するように配置し、

前記検出コイルは、コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略平行となるように且つ前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に対し略垂直となるように配置することを特徴とする渦電流探傷方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の渦電流探傷方法において、前記渦電流探傷プローブは、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と前記検出コイルの軸方向中心位置とを一致させる場合より検出信号が大きくなるように、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と前記検出コイルの軸方向中心位置とを予め設定された所定の距離だけずらすように配置した状態で、前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に走査することを特徴とする渦電流探傷方法。

【請求項 3】

被検体の摩擦撹拌接合部を検査する渦電流探傷プローブであって、

20

コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略垂直となるように、且つ互いに前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に離間するように配置され、互いに逆向きの電流が流れる対の励磁コイルと、コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略平行となるように且つ前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に対し略垂直となるように、前記対の励磁コイルの間に配置される検出コイルとを有することを特徴とする渦電流探傷プローブ。

【請求項 4】

被検体の摩擦撹拌接合部を検査する渦電流探傷装置であって、

コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略垂直となるように、且つ互いに前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に離間するように配置され、互いに逆向きの電流が流れる対の励磁コイル、及びコイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略平行となるように且つ前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に対し略垂直となるように、前記対の励磁コイルの間に配置される検出コイルを有する渦電流探傷プローブと、

30

前記摩擦撹拌接合部の接合条件に基づき、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置を演算するキズ予想位置演算手段と、

前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と前記検出コイルの軸方向中心位置とを一致させる場合より検出信号が大きくなるように、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と前記検出コイルの軸方向中心位置とを予め設定された所定の距離だけずらすような前記渦電流探傷プローブの設定位置を演算するプローブ設定位置演算手段と、

前記プローブ設定位置演算手段の演算結果に基づき前記摩擦撹拌接合部の接合線幅方向における前記渦電流探傷プローブの位置を固定しつつ、前記渦電流プローブを前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に走査する走査機構とを備えたことを特徴とする渦電流探傷装置。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、被検体の摩擦撹拌接合部を検査する渦電流探傷方法、渦電流探傷プローブ、及び渦電流探傷装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

50

例えば鉄道車両や建築物等に使用されるアルミニウム合金製部材の接合部として、摩擦撹拌接合方法で接合した摩擦撹拌接合部が知られている（例えば特許文献１参照）。摩擦撹拌接合方法は、２つの部材の端部同士を突き合わせた接合部に丸棒（以下、回転工具と称す）を挿入し、この回転工具を回転させながら接合線に沿って移動させて、接合部を発熱、軟化させて塑性流動を生じさせ、固相接合する方法である。そのため、摩擦撹拌接合部の表面には略半円状の（言い換えれば、接合線に直交する方向に連続した）キズやウネリが生じやすい。また、摩擦撹拌接合部の内部にキズが生じた場合、接合線方向に連続したキズとなりやすい。この摩擦撹拌接合部の内部キズを検出する非破壊検査方法として、従来、超音波検査方法が開示されている（例えば、特許文献２参照）。

【０００３】

【特許文献１】特開２００７－２６３９４６号公報

【特許文献２】特許第３７５３６４１号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

ところで、他の非破壊検査方法として渦電流探傷方法が知られている。渦電流探傷方法は、例えば、交流信号（励磁電流）を流した励磁コイルを金属などの導電性被検体に近づけ、電磁誘導によって被検体に渦電流を誘起し、その渦電流の乱れ（若しくはそれに伴う磁界の乱れ）を検出コイルで検出することで、被検体に存在するキズなどを検出する方法である。超音波検査方法では、接触媒質（水、油、又はグリセリン等）を使用するために接触媒質の供給や検査後の拭き取りなどの処理が必要であるのに対し、渦電流探傷方法では、接触媒質を使用しないので前述の処理が不要である。しかし、渦電流探傷方法は、一般に、被検体の表面（検査面）での検出感度が良いものの、表皮効果のために裏面側に向かって渦電流が減少し、被検体の内部や裏面での検出感度が低下するという課題がある。そこで、このような課題を解決するため、従来、互いに逆向きの電流が流れる対の励磁コイルと、これら対の励磁コイルの間に配置された検出コイルとを有する渦電流探傷プローブを用いた渦電流探傷方法が提唱されている（例えば、特許第３７９６５７０号公報参照）。この渦電流探傷プローブでは、各励磁コイルによって生じる渦電流を重ね合わせて渦電流を強めるため、検出感度を向上させるようになっている。

【０００５】

ここで、上記渦電流探傷プローブを用いて被検体の摩擦撹拌接合部を検査する場合を想定すると、以下のような課題が存在する。上記特許第３７９６５７０号公報に記載の渦電流探傷プローブにおいては、検出コイルは、コイル軸方向が検査面に対し略垂直となるように配置されており、様々な方向の渦電流の変化を検出できるようになっている。そのため、例えば摩擦撹拌接合部の表面にキズやウネリが生じていれば、それら表面のキズやウネリを起因としたノイズ信号も検出される。そのため、内部キズの検出信号とノイズ信号との識別が困難となって、内部キズの検出能が低下する。

【０００６】

本発明は、上記の事柄に鑑みてなされたものであり、その目的は、摩擦撹拌接合部の内部キズの検出能を高めることができる渦電流探傷方法、渦電流探傷プローブ、及び渦電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】

【０００７】

（１）上記目的を達成するために、本発明は、渦電流探傷プローブを用いて被検体の摩擦撹拌接合部を検査する渦電流探傷方法であって、前記渦電流探傷プローブは、互いに逆向きの電流が流れる対の励磁コイルと、前記対の励磁コイルの間に配置された検出コイルとを有し、前記対の励磁コイルは、コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略垂直となるように、且つ互いに前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に離間するように配置し、前記検出コイルは、コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略平行となるように且つ前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に対し略垂直となるように配置する。

【 0 0 0 8 】

本発明においては、対の励磁コイルは、コイル軸方向が被検体の検査面に対し略垂直となるように、且つ互いに摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向（言い換えれば、接合線方向）に離間するように配置されており、互いに逆向きの電流が流れる。これにより、励磁コイルの間の領域（言い換えれば、検出コイルが配置される領域）にて、各励磁コイルによって生じる渦電流を重ね合わせて、接合線幅方向（言い換えれば、接合線に直交する方向）の渦電流を強めることができる。したがって、検出感度を向上させることができる。また、検出コイルは、コイル軸方向が被検体の検査面に対し略平行となるように且つ摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に対し略垂直となるように配置される。これにより、接合線幅方向の渦電流をほとんど検出せず、接合線長さ方向の渦電流を検出する。そのため、例えば摩擦撹拌接合の表面にて接合線幅方向に連続したキズやウネリが生じていても、接合線長さ方向の渦電流が表面のキズやウネリを迂回するような変化（言い換えれば、接合線幅方向の渦電流）は検出されないし、接合線幅方向の渦電流が表面のキズやウネリを迂回するような変化（言い換えれば、接合線長さ方向の渦電流）も僅かであることから、表面のキズやウネリを起因としたノイズ信号を低減することができる。一方、摩擦撹拌接合部の内部にキズが生じた場合は接合線長さ方向に連続したキズとなりやすく、接合線幅方向の渦電流が内部のキズを迂回するような変化（言い換えれば、接合線長さ方向の渦電流）は顕著に現れる。したがって、内部キズの検出能を高めることができる。

10

【 0 0 0 9 】

（２）上記（１）において、好ましくは、前記渦電流探傷プローブは、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と前記検出コイルの軸方向中心位置とを一致させる場合より検出信号が大きくなるように、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と前記検出コイルの軸方向中心位置とを予め設定された所定の距離だけずらすように配置した状態で、前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に走査する。

20

【 0 0 1 0 】

（３）上記目的を達成するために、本発明は、被検体の摩擦撹拌接合部を検査する渦電流探傷プローブであって、コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略垂直となるように、且つ互いに前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に離間するように配置され、互いに逆向きの電流が流れる対の励磁コイルと、コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略平行となるように且つ前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に対し略垂直となるように、前記対の励磁コイルの間に配置される検出コイルとを有する。

30

【 0 0 1 1 】

（４）上記目的を達成するために、本発明は、被検体の摩擦撹拌接合部を検査する渦電流探傷装置であって、コイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略垂直となるように、且つ互いに前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に離間するように配置され、互いに逆向きの電流が流れる対の励磁コイル、及びコイル軸方向が前記被検体の検査面に対し略平行となるように且つ前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に対し略垂直となるように、前記対の励磁コイルの間に配置される検出コイルを有する渦電流探傷プローブと、前記摩擦撹拌接合部の接合条件に基づき、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置を演算するキズ予想位置演算手段と、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と前記検出コイルの軸方向中心位置とを一致させる場合より検出信号が大きくなるように、前記摩擦撹拌接合部の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と前記検出コイルの軸方向中心位置とを予め設定された所定の距離だけずらすような前記渦電流探傷プローブの設定位置を演算するプローブ設定位置演算手段と、前記プローブ設定位置演算手段の演算結果に基づき前記摩擦撹拌接合部の接合線幅方向における前記渦電流探傷プローブの位置を固定しつつ、前記渦電流プローブを前記摩擦撹拌接合部の接合線長さ方向に走査する走査機構とを備える。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

50

本発明によれば、摩擦撹拌接合部の内部キズの検出能を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態を、図面を参照しつつ説明する。

【0014】

本発明の第1の実施形態を説明する。図1は、本発明の第1の実施形態における渦電流探傷装置の構成を表すブロック図である。また、図2は、本実施形態の要部である渦電流探傷プローブの構造及び配置を表す平面図であり、図3は断面図であり、図4は斜視図である。

【0015】

10

これら図1～図4において、渦電流探傷装置は、例えば部材1A, 1Bの端部どうしを接合した摩擦撹拌接合部2の検査を目的とするものであり、渦電流探傷プローブ3と、この渦電流探傷プローブ3を保持するプローブ保持器4と、このプローブ保持器4を介して渦電流探傷プローブ3を摩擦撹拌接合部2上で走査する走査機構5と、この走査機構5を駆動制御して渦電流探傷プローブ3の位置を制御する走査機構制御器6と、信号増幅機能を有し、渦電流探傷プローブ3に交流信号（励磁電流）を出力するとともに、渦電流探傷プローブ3から検出信号（誘起電圧）を入力する渦電流探傷器7と、走査機構制御器6からのプローブ位置信号や渦電流探傷器7からの検出信号を取り込んで演算処理を行う信号採取・処理器8と、前述した各機器の動作状態や検出信号を表示する表示器（モニタ）9とを備えている。

20

【0016】

渦電流探傷プローブ3は、互いに逆向き（逆回り）の電流が流れる1対の励磁コイル10A, 10Bと、これら励磁コイル10A, 10Bの間に配置された検出コイル11とを有している。励磁コイル10A, 10Bは、例えば円筒状に巻線されて構成されており、コイル軸方向（図中一点鎖線の矢印で示す）が摩擦撹拌接合部2の表面（検査面）に対し略垂直となるように、且つ互いに摩擦撹拌接合部2の接合線長さ方向（図2及び図3中左右方向）に離間するように配置される。検出コイル11は、例えば長方形筒状（若しくは、円筒形状としてもよい）に巻線されて構成されており、コイル軸方向（図中一点鎖線の矢印で示す）が摩擦撹拌接合部2の表面に対し略平行となるように且つ摩擦撹拌接合部2の接合線長さ方向に対し略垂直となるように配置される。

30

【0017】

本実施形態の渦電流検査装置の動作を、図5を用いて説明する。図5は、本実施形態の渦電流検査装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【0018】

まず、渦電流探傷器7の電源をONとし、渦電流探傷プローブ3の励磁コイル10A, 10Bに励磁電流を印加する（ステップ101）。その後、試験周波数や信号増幅率（ゲイン）などの探傷条件を入力する（ステップ102）。そして、摩擦撹拌接合部2の接合線幅方向（前述の図2中上下方向）における渦電流探傷プローブ3の設定位置（走査位置）に基づき、走査機構5を駆動して渦電流探傷プローブ3を走査開始位置に設置する（ステップ103）。その後、走査機構5及び走査機構制御器6によって渦電流探傷プローブ3を接合線長さ方向に走査する（ステップ104）。渦電流探傷プローブ3の走査中、信号採取・処理器8は予め設定されたピッチでプローブ位置信号と検出信号とを採取し（ステップ105）、その結果を表示器9に表示する（ステップ106）。そして、摩擦撹拌接合部2に検査すべき他の走査位置があれば、ステップ107の判定が満たされずに前述のステップ103に移り、渦電流探傷プローブ3を次の走査開始位置に設置する。その後、上述したステップ104～106の手順を繰り返す。一方、検査すべき他の走査位置がなければ、ステップ107の判定が満たされて、検査終了となる。

40

【0019】

以上のような本実施形態においては、励磁コイル10A, 10Bは、コイル軸方向が摩擦撹拌接合部2の表面に対し略垂直となるように、且つ互いに摩擦撹拌接合部2の接合線

50

長さ方向に離間するように配置され、互いに逆向きの電流が流れる。これにより、励磁コイル 10A, 10B の間の領域（言い換えれば、検出コイル 11 が配置される領域）にて、励磁コイル 10A, 10B のそれぞれによって生じる渦電流が重ね合わせられ、接合線幅方向の渦電流を強めることができる。したがって、検出感度を向上させることができる。また、検出コイル 11 は、コイル軸方向が摩擦攪拌接合部 2 の表面に対し略平行となるように且つ摩擦攪拌接合部 2 の接合線長さ方向に対し略垂直となるように配置される。これにより、接合線幅方向の渦電流をほとんど検出せず、接合線長さ方向の渦電流を検出する。そのため、例えば図 6 に示すように摩擦攪拌接合 2 の表面にて接合線幅方向に連続したキズ 12 が生じていても、接合線長さ方向の渦電流がキズ 12 を迂回するような変化（言い換えれば、接合線幅方向の渦電流）は検出されないし、図 6 中矢印で示すように接合線幅方向の渦電流がキズ 12 を迂回するような変化（言い換えれば、接合線長さ方向の渦電流）も僅かであることから、表面のキズ 12 を起因としたノイズ信号を低減することができる。一方、例えば図 6 に示すように摩擦攪拌接合部 2 の内部に生じたキズ 13 は接合線長さ方向に連続したキズとなりやすく、図 6 中矢印で示すように接合線幅方向の渦電流が内部のキズ 13 を迂回するような変化（言い換えれば、接合線長さ方向の渦電流）は顕著に現れる。したがって、内部キズの検出能を高めることができる。

10

【0020】

なお、図示しないが、例えば摩擦攪拌接合部 2 を表面側に突出する段差部とした場合でも、接合線幅方向の渦電流が段差部を迂回しようとする接合線長さ方向一方側及び他方側の渦電流は互いに相殺されるので、段差部を起因としたノイズ信号も低減することができる。

20

【0021】

上述した本実施形態の作用効果を、さらに比較例を用いて説明する。図 7 は、比較例における渦電流探傷プローブの構造を表す斜視図である。なお、この図 7 において、上記第 1 の実施形態と同等の部分は同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0022】

比較例の渦電流探傷プローブ 14 は、互いに逆向き（逆回り）の電流が流れる一対の励磁コイル 10A, 10B と、これら励磁コイル 10A, 10B の間に配置された検出コイル 15 とを有している。検出コイル 15 は、コイル軸方向が検査面に対し略垂直となるように配置されており、様々な方向の渦電流の変化を検出する。そのため、接合線長さ方向の渦電流が表面のキズ 12（前述の図 6 参照）を迂回するような変化（言い換えれば、接合線幅方向の渦電流）も検出するので、表面のキズ 12 を起因としたノイズ信号が大きくなる。実際に、本願発明者らが図 8 に示すような試験片の探傷試験を行ったところ、図 9 に示すような結果が得られている。試験片の摩擦攪拌接合部 2 には、接合線幅方向の表面キズ 12A ~ 12E が人工的に形成されており、それら表面キズ 12A ~ 12E の深さを互いに異ならせている（詳細には、表面キズ 12A の深さを 0.1mm、表面キズ 12B の深さを 0.3mm、表面キズ 12C の深さを 0.5mm、表面キズ 12D の深さを 0.7mm、表面キズ 12E の深さを 0.9mm としている）。そして、表面キズ 12A ~ 12E のいずれの探傷結果においても、比較例の渦電流探傷プローブ 14 を用いた場合より、本発明の第 1 の実施形態の渦電流探傷プローブ 3 を用いた場合のほうがその検出信号（ノイズ信号）を大幅に低減することが確認された。

30

40

【0023】

本発明の第 2 の実施形態を説明する。本実施形態は、摩擦攪拌接合部 2 の接合線幅方向における渦電流探傷プローブ 3 の設定位置に特徴を有する実施形態である。なお、上記一実施形態と同等の部分は同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0024】

本実施形態では、信号採取・処理器 8 は、キズ予想位置演算機能を有しており、検査開始前に（言い換えれば、前述の図 5 のステップ 101 の前段階で）、摩擦攪拌接合部 2 の接合条件（詳細には、回転工具の仕様や回転方向など）を入力し、これに基づき摩擦攪拌接合部 2 の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置を演算する。なお、図 10 に示

50

すように、摩擦撹拌接合部 2 の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置 L 1 は、摩擦撹拌接合部 2 の接合線幅方向中心位置 L 2 からずれることが知られている。

【 0 0 2 5 】

また、信号・採取処理器 8 には、摩擦撹拌接合部 2 の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置 L 1 と検出コイル 1 1 の軸方向中心位置 L 3 とのずれし距離 ΔY が予め設定記憶されている。このずれし距離 ΔY について詳細を説明する。図 1 1 は、摩擦撹拌接合部 2 の接合線幅方向における内部キズと検出コイル 3 との相対位置関係による検出信号の大きさ（振幅）を表す特性図である。例えば摩擦撹拌接合部 2 の内部キズの接合線幅方向位置と検出コイル 3 の軸方向中心位置とを一致させる場合は検出信号が小さくなり、一方、例えば摩擦撹拌接合部 2 の内部キズの接合線幅方向位置と検出コイル 3 の軸方向中心位置とを所定の距離 ΔY だけずらした場合は検出信号を大きくすることができる。

10

【 0 0 2 6 】

そして、信号採取・処理器 8 は、プローブ設定位置演算機能として、渦電流探傷プローブ 3 の構造寸法に基づき、摩擦撹拌接合部 2 の内部キズの発生が予想される接合線幅方向位置と検出コイル 3 の軸方向中心位置とを所定の距離 ΔY だけずらすための渦電流探傷プローブ 3 の設置位置を演算し、これに基づいて渦電流探傷プローブ 3 を走査開始位置に設置させる（前述の図 5 のステップ 1 0 3 ）。

【 0 0 2 7 】

以上のような本実施形態においても、上記第 1 の実施形態同様、摩擦撹拌接合部の内部キズの検出能を高めることができる。また、本実施形態では、渦電流探傷センサ 3 は摩擦撹拌接合部の内部キズが検出されやすい走査位置に自動設定される。したがって、作業者の技倆にかかわらず、検査作業を効率よく実施することができる。

20

【 0 0 2 8 】

なお、上記第 2 の実施形態においては、信号採取・処理器 8 は、ずれし距離 ΔY を記憶するとともに摩擦撹拌接合部 2 の接合条件や渦電流探傷プローブ 3 の構造寸法などを入力して、渦電流探傷プローブ 3 の設定位置を演算し、これに基づいて渦電流探傷プローブ 3 を走査開始位置に設置させる場合を例にとって説明したが、これに限られない。すなわち、例えば予め演算された渦電流探傷プローブ 3 の設定位置を入力し、これに基づいて渦電流探傷プローブ 3 を走査開始位置に設置させるようにしてもよい。この場合も、上記同様の効果を得ることができる。

30

【 0 0 2 9 】

なお、上記第 1 及び第 2 の実施形態においては、渦電流探傷プローブ 3 は、1 つの検出コイル 1 1 を有する場合を例にとって説明したが、これに限られず、複数の検出コイルを有してもよい。このような変形例を以下説明する。

【 0 0 3 0 】

例えば図 1 2 に示す第 1 の変形例の渦電流探傷プローブ 3 A は、励磁コイル 1 0 A , 1 0 B の間に、励磁コイル 1 0 A , 1 0 B の配列方向（言い換えれば、接合線長さ方向）に配置された 2 つの検出コイル 1 1 A , 1 1 B を有し、検出コイル 1 1 A , 1 1 B は、互いに巻線方向が逆向きとなるように構成されている。そのため、検出コイル 1 1 A , 1 1 B は、接合線長さ方向の内部キズを迂回する左右の渦電流（言い換えれば、接合線長さ方向一方側及び反対側の渦電流）をそれぞれ検出する。これにより、内部キズの検出能をさらに高めることができる。

40

【 0 0 3 1 】

例えば図 1 3 に示す第 2 の変形例の渦電流探傷プローブ 3 B は、励磁コイル 1 0 A , 1 0 B の配列方向に直交する方向（言い換えれば、接合線幅方向）に配置された 2 つの検出コイル 1 1 C , 1 1 D を有し、検出コイル 1 1 C , 1 1 D は、互いに巻線方向が逆向きとなるように構成されている。そのため、検出コイル 1 1 C , 1 1 D は、接合線長さ方向の内部キズを迂回する前後の渦電流（言い換えれば、接合線長さ方向一方側及び反対側の渦電流）をそれぞれ検出する。これにより、内部キズの検出能をさらに高めることができる。

50

【 0 0 3 2 】

また、上記第 1 及び第 2 の実施形態においては、渦電流探傷プローブ 3 は、互いに逆向きの電流が流れる 1 対の励磁コイル 1 0 A , 1 0 B を有する場合を例にとって説明したが、これに限られず、互いに逆向きの電流が流れる複数対の励磁コイルを有してもよい。例えば図 1 4 に示す第 3 の変形例の渦電流探傷プローブ 3 C は、格子配列された 3 対の励磁コイル 1 0 A ~ 1 0 F を有している。励磁コイル 1 0 A と 1 0 B が対をなして互いに逆向きの電流が流れ、励磁コイル 1 0 C と 1 0 D が対をなして互いに逆向きの電流が流れ、励磁コイル 1 0 E と 1 0 F がそれぞれ対をなして互いに逆向きの電流が流れるようになっている。ただし、接合線幅方向一方側の励磁コイル 1 0 A , 1 0 C , 1 0 E は、互いに同じ向きの電流が流れ、反对方側の励磁コイル 1 0 B , 1 0 D , 1 0 F は、互いに同じ向きの電流が流れるようになっている。これにより、接合線幅方向の渦電流をさらに強めることができ、検出感度をさらに向上させることができる。

10

【 0 0 3 3 】

また、上記実施形態及び上記変形例においては、渦電流探傷プローブは、円筒状の励磁コイルを有する場合を例にとって説明したが、これに限られない。例えば図 1 5 に示す第 4 の変形例の渦電流探傷プローブ 3 D は、長方形筒状の励磁コイル 1 6 A , 1 6 B を有している。長方形筒状の励磁コイルは、2 つの励磁コイルの間隔が同じ条件下にある円筒状の励磁コイルと比べて巻線数を多くすることができる。したがって、渦電流をさらに高めることができ、検出感度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

20

【 0 0 3 4 】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態における渦電流探傷装置の構成を表すブロック図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態における渦電流探傷プローブの構造及び配置を表す平面図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施形態における渦電流探傷プローブの構造及び配置を表す断面図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態における渦電流探傷プローブの構造及び配置を表す斜視図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施形態における渦電流探傷装置の動作を説明するためのフローチャートである。

30

【図 6】本発明の第 1 の実施形態における作用効果を説明するための摩擦撹拌接合部の平面図である。

【図 7】比較例における渦電流探傷プローブの構造を表す斜視図である。

【図 8】試験片の平面図である。

【図 9】比較例の渦電流探傷プローブを用いた場合及び本発明の第 1 の実施形態の渦電流探傷プローブを用いた場合における試験片の探傷結果を表す図である。

【図 1 0】本発明の第 2 の実施形態における渦電流探傷プローブの配置を説明するための平面図である。

【図 1 1】摩擦撹拌接合部の接合線幅方向における内部キズと検出コイルとの相対位置関係による検出信号の大きさを表す特性図である。

40

【図 1 2】本発明の第 1 の変形例における渦電流探傷プローブの構造を表す平面図である。

【図 1 3】本発明の第 2 の変形例における渦電流探傷プローブの構造を表す平面図である。

【図 1 4】本発明の第 3 の変形例における渦電流探傷プローブの構造を表す斜視図である。

【図 1 5】本発明の第 4 の変形例における渦電流探傷プローブの構造を表す平面図である。

【符号の説明】

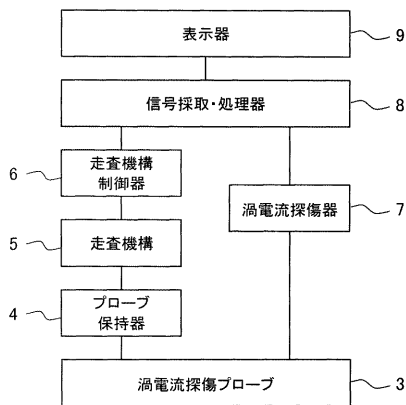
50

【 0 0 3 5 】

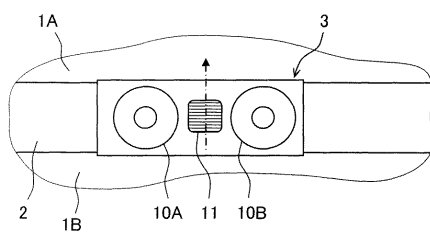
1 A , 1 B	部 材
2	摩擦 撹拌 接合 部
3 , 3 A ~ 3 D	渦 電 流 探 傷 プ ロ ー プ
4	プ ロ ー プ 保 持 器
5	走 査 機 構
6	走 査 機 構 制 御 器
7	渦 電 流 探 傷 器
8	信 号 ・ 採 取 処 理 器
9	表 示 器
1 0 A ~ 1 0 F	励 磁 コ イ ル
1 1 , 1 1 A ~ 1 1 D	検 出 コ イ ル
1 2 , 1 2 A ~ 1 2 D	表 面 キ ズ
1 3	内 部 キ ズ
1 6 A , 1 6 B	励 磁 コ イ ル

10

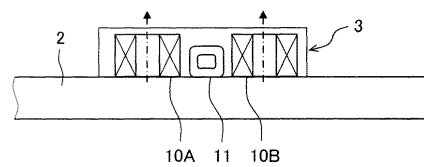
【 図 1 】



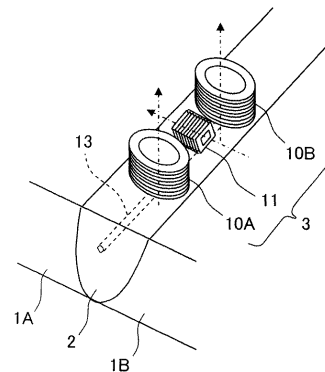
【 図 2 】



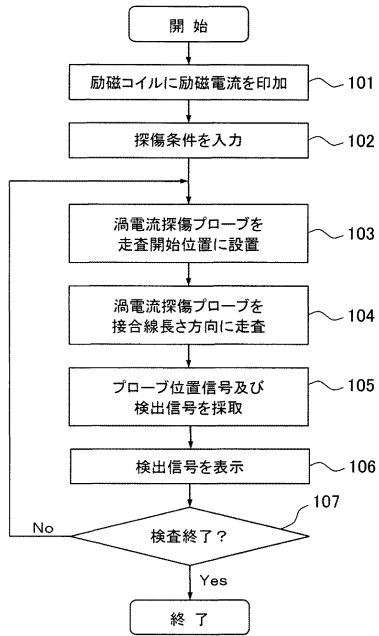
【 図 3 】



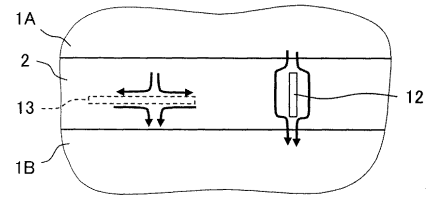
【 図 4 】



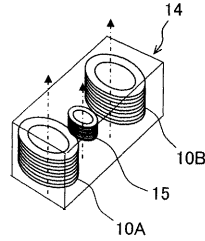
【図 5】



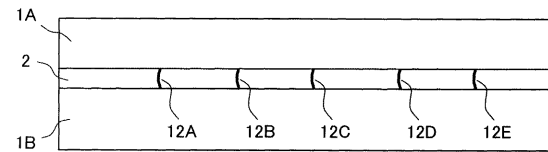
【図 6】



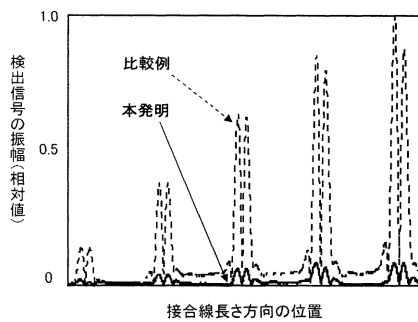
【図 7】



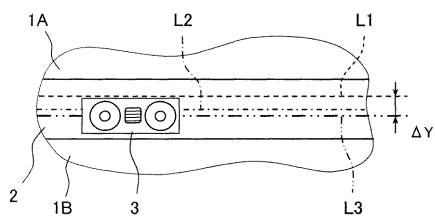
【図 8】



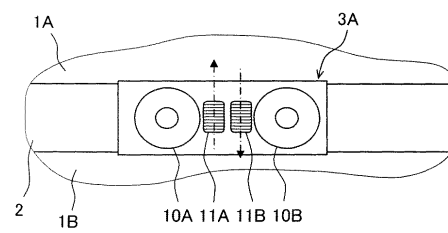
【図 9】



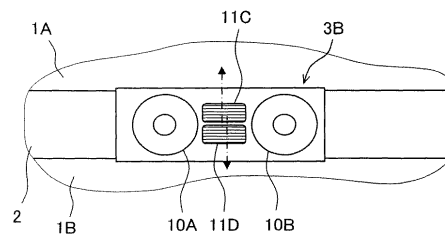
【図 10】



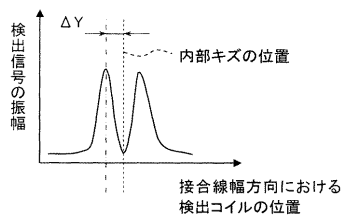
【図 12】



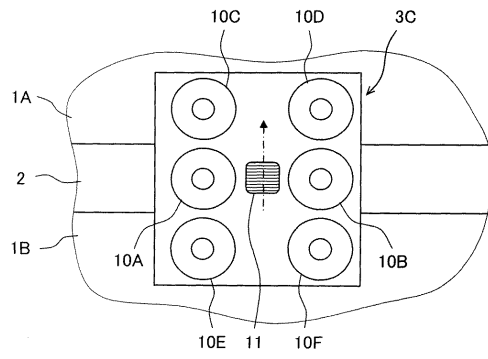
【図 13】



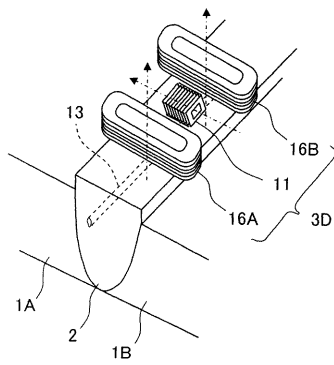
【図 11】



【図 1 4】



【図 1 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 西水 亮
茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
環境システム研究所内
株式会社日立製作所エネルギー・
- (72)発明者 鈴木 豊
茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
環境システム研究所内
株式会社日立製作所エネルギー・
- (72)発明者 江角 昌邦
山口県下松市大字東豊井 7 9 4 番地
株式会社日立製作所笠戸事業所内
- F ターム(参考) 2G053 AA11 AB21 BA29 BC11 BC14 CA03 CA18 CB28 DA01 DA09
DA10 DB20