(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2007-57245
(P2007-57245A)
(43)公開日　平成19年3月8日(2007.3.8)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01N 27/90	(2006.01)	G01N	27/90	2G053
G01N 27/72	(2006.01)	G01N	27/72	

審査請求 未請求　請求項の数 2　ＯＬ　（全 20 頁）

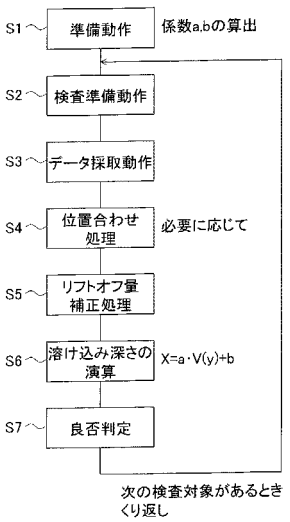
(21)出願番号　特願2005-239622 (P2005-239622)
(22)出願日　平成17年8月22日 (2005.8.22)

(71)出願人　000004385
ＮＯＫ株式会社
東京都港区芝大門１丁目１２番１５号
(74)代理人　100094053
弁理士　佐藤　隆久
(72)発明者　水川　大輔
神奈川県藤沢市辻堂新町４－３－１　ＮＯＫ株式会社内

Ｆターム(参考)　2G053 AA26 AB21 BA22 BA30 BB04 BC02 BC14 CA03 CB25 DA01 DA09 DB21 DB24

(54)【発明の名称】溶接部の溶け込み深さを検査する装置

(57)【要約】
【課題】　溶接部の溶け込み深さが深くリフトオフ量の変動がかなり大きい場合でも、正確にかつ非破壊方式で、溶接部の状態を検査する装置を提供する。
【解決手段】　磁気センサー１１を用いて渦電流方式でビード部５２の位相差Δφと振幅差ΔＨとで示されるベクトル和出力信号V_0を検出する。距離センサー１５でビード部５２のリフトオフ量を測定し、磁気センサー１１の検出信号に対してリフトオフ量変動の補正を行う。信号処理装置３０はリフトオフ量変動値で補正したベクトル和出力信号Ｖ（ｙ）を用いて式４の演算を行い、ビード部５２の溶け込み深さＸを算出する。
【選択図】　図１６



【特許請求の範囲】
【請求項１】
円筒形の製品（５０）の周囲に形成された溶接部（５２）の溶け込み深さ（Ｘ）を非破壊方式で検査する検査装置であって、
前記製品（５０）が載置される、回転可能な回転テーブル（２０）と、
前記回転テーブル（２０）を回転させるモータ（２３）と、
前記モータ（２３）を回転駆動する制御手段（３０）と、
前記モータ（２３）の回転位置を検出するエンコーダ（１９）と、
前記回転テーブル（２０）に載置された前記製品（５０）の前記溶接部（５２）に対して所定距離離隔した所定位置に固定して配置され、前記溶接部（５２）のリフトオフ量を検出するリフトオフ量検出センサー（１５）と、
前記回転テーブル（２０）に載置された前記製品（５０）の前記溶接部（５２）に対して所定距離離隔した所定位置に固定して配置され、励磁コイル（１１１）と検出コイル（１１２）とを有し、前記励磁コイル（１１１）から前記溶接部（５２）に渦電流を発生させるための所定周波数の高周波電流が印加され、前記検出コイル（１１２）により前記ビード状の溶接部５２の状態を示す信号を検出する、磁気センサー（１１）と、
前記磁気センサー（１１）の前記励磁コイル（１１１）に所定周波数の高周波電流を印加する高周波電源（１３１）と、
前記溶接部の外周に沿って、前記磁気センサーの前記検出コイル（１１２）で検出した前記溶接部の状態を示す信号を、前記エンコーダ（１９）で検出した信号を用いて位置合わせして、前記リフトオフ量検出センサー（１５）で検出したリフトオフ量で補正し、補正した前記溶接部の状態を示す信号から前記溶接部の溶け込み深さ（Ｘ）を算出する、演算手段（３０）と
を具備する、
溶接部の溶け込み深さを検査する装置。
【請求項２】
事前に、リフトオフ量を一定とし、前記溶け込み深さ（ｘ）と前記磁気センサーの検出出力との関係を示す第１データを求めておき、
前記演算手段は、前記リフトオフ量検出センサー（１５）で検出したリフトオフ量の変動値を用いて前記溶接部の状態を示す信号を補正し、前記事前に求めた第１データを参照して前記リフトオフ量の変動値で補正した溶接部の状態を示す信号から前記溶け込み深さ（Ｘ）を算出する、
請求項１に記載の検査装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は非破壊検査方法と装置に関する。
本発明は特に、たとえば、溶接部の溶け込み深さのように深さが深く、溶接部のリフトオフ量（高低）の変動がある検査対象（被検体）の状態を、非破壊方式で、磁気的に検査する方法と装置に関する。
より特定的には、本発明は、渦電流を用いた非破壊方式で、溶接部の溶け込み深さを磁気的に検査（測定）するとともに、溶接部のリフトオフ量を測定し、測定したリフトオフ量で磁気信号検出値を補正して溶け込み深さを算出する装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
たとえば、金属ベローズアキュムレータのシェルを炭酸ガス（CO_2）レーザを用いて溶接した場合、溶接部の品質の管理上、溶接部の検査が必要となる。
【０００３】
溶接部の検査のこれまでの基本的な方法は、溶接部の外観を目視して行う方法である。しかしながら、この検査方法は検査技師によって評価判断がばらつく可能性がある。また

、目視による検査は時間がかかる。さらに、全ての溶接部を検査することが困難となり、抜き取り検査にならざるをえない。

【０００４】

他の検査方法は、溶接部を破壊して溶接断面の観察を目視で行う方法である。この破壊検査方法は検査の評価が正確であるという利点がある。しかしながら、検査対象を破壊するので検査対象全数を検査できず、抜き取り検査となる。そして、抜き取らない検査対象については、切断箇所、切断したサンプル数から溶接部の状態を推定せざるを得ない。

【０００５】

上述した方法を改善する検査技術が非破壊方式による検査方法であり、そのような非破壊方式の検査方法として、たとえば、超音波や、電磁誘導作用を用いた渦電流や、高周波電流を用いて傷などを測定技術を適用して溶接部を検査する技術が知られている。

以下、そのような技術について述べる。

【０００６】

特許文献１は、渦電流方式による測定結果を検査対象のサンプルの温度や形状を用いて補正して、焼き入れ硬化層深さを検査する非破壊検査技術を開示している。特許文献１に記載の渦電流方式による測定方法は、誘導（励磁）コイルと被誘導（検出）コイルとを検査対象のサンプルに挿通し、誘導コイルに交流誘導電圧を印加したときに被誘導コイルに発生する被誘導電圧を測定して、焼き入れ硬化層の深さを求めるものである。上述した渦電流方式の測定精度を向上させるため、検査対象のサンプルの他に同一の形状のマスター検査ピースを使用する方法も提案されている。

ところで、上述した渦電流方式による測定において、被誘導コイルに発生する被誘導電圧が検査対象のサンプルの硬化層深さの状態だけではなく、検査対象のサンプルの温度、形状によっても変化するため、検査対象のサンプルの温度、形状によって渦電流方式による測定結果を補正して焼き入れ硬化層深さの精度を向上させている。

【０００７】

特許文献２は、鋼材に高周波電流を供給したとき、高周波に起因する表皮効果により鋼材の表層部分にのみ流れる電流によって発生する電圧を測定して、脱炭状態を検査する技術を開示している。特許文献２には、発生した電圧の振幅と位相との一次結合関係から脱炭の有無と深さを調べることが可能であると記載されている。

【０００８】

特許文献３は、非導電体被覆が施された探傷対象物表面の傷を渦電流方式によって検出する探傷技術を開示している。たとえば、特許文献３においては、励磁コイルに移相交流電流を印加し、検出コイルで被検査部位の傷状況に応じた電流を検出し、傷信号を位相検波した信号と、移相交流信号を参照信号として傷信号を位相検波した信号とを用いて非導電体被覆が施された探傷対象物表面の傷を検出している。

【０００９】

特許文献４は、電磁誘導作用を用いて物体の内部の欠陥を検出する技術を開示している。

【特許文献１】特開平９－８９，８４５号公報
【特許文献２】特開平９－２５７，７３４号公報
【特許文献３】特開２００３－２３２，７７６号公報
【特許文献４】特許第３，１４０，１０５号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

特許文献１、２に開示されている技術は、焼き入れ硬化層または鋼材の表層部分といった検査対象の表層付近での薄い層の状態の検査を目的としたものである。したがって、特許文献１、２に開示されている技術では、検査対象、たとえば、金属ベローズアキュムレータのシェルを溶接手段、たとえば、CO_2 レーザを用いて溶接した溶接部の溶け込み深さの検査のように、たとえば、溶け込み深さが数ｍｍ～１０ｍｍ程度と深い領域の状態を

検査するには限界がある。

【００１１】

また、特許文献１、２に開示されている技術は、焼き入れ硬化層または鋼材の表層部分といった検査対象の表面の凹凸が比較的少ない場合、すなわち、リフトオフ量の変動が少ない場合への適用に限られる。

リフトオフ量の変動により、検査の精度が大きく変動することが、本願発明者によって解明された。したがって、たとえば、金属ベローズアキュムレータのシェルをCO_2レーザを用いて溶接した溶接部のようにリフトオフ量の変動が大きな場合には特許文献１、２に開示されている技術を適用できない。

【００１２】

特許文献３、４に開示されている技術も、検査対象の表層付近の傷の探傷技術である。したがって、特許文献１、２と同様の課題に遭遇している。

【００１３】

以上のとおり、たとえば、金属ベローズアキュムレータのシェルをCO_2レーザなどを用いて溶接した場合、その溶接部の溶け込み深さは、たとえば、０～１０ｍｍ程度の深さがあり、溶接ビードの形成により変動によりリフトオフ量の変動はかなり大きく、上述した溶特許文献１～４に開示された技術を適用することはできない。

もちろん、上記例示の金属ベローズアキュムレータのシェルの溶接部に限らず、溶け込み量が大きく、リフトオフ量の変動が大きな他の例についても同様である。

【００１４】

本発明の目的は、たとえば、上記例の溶接部の溶け込み深さのように、深さがあり、たとえば、溶接ビードの形成による変動などによるリフトオフ量の変動がかなり大きい場合でも、正確に、かつ、非破壊方式で測定可能な装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００１５】

本発明によれば、円筒形の製品（５０）の周囲に形成された溶接部（５２）の溶け込み深さ（Ｘ）を非破壊方式で検査する検査装置であって、前記製品（５０）が載置される、回転可能な回転テーブル（２０）と、前記回転テーブル（２０）を回転させるモータ（２３）と、前記モータ（２３）を回転駆動する制御手段（３０）と、前記モータ（２３）の回転位置を検出するエンコーダ（１９）と、前記回転テーブル（２０）に載置された前記製品（５０）の前記溶接部（５２）に対して所定距離離隔した所定位置に固定して配置され、前記溶接部（５２）のリフトオフ量を検出するリフトオフ量検出センサー（１５）と、前記回転テーブル（２０）に載置された前記製品（５０）の前記溶接部（５２）に対して所定距離離隔した所定位置に固定して配置され、励磁コイル（１１１）と検出コイル（１１２）とを有し、前記励磁コイル（１１１）から前記溶接部（５２）に渦電流を発生させるための所定周波数の高周波電流が印加され、前記検出コイル（１１２）により前記ビード状の溶接部５２の状態を示す信号を検出する、磁気センサー（１１）と、前記磁気センサー（１１）の前記励磁コイル（１１１）に所定周波数の高周波電流を印加する高周波電源（１３１）と、前記溶接部の外周に沿って、前記磁気センサーの前記検出コイル（１１２）で検出した前記溶接部の状態を示す信号を、前記エンコーダ（１９）で検出した信号を用いて位置合わせして、前記リフトオフ量検出センサー（１５）で検出したリフトオフ量で補正し、補正した前記溶接部の状態を示す信号から前記溶接部の溶け込み深さ（Ｘ）を算出する、演算手段（３０）とを具備する、溶接部の溶け込み深さを検査する装置が提供される。

【００１６】

好ましくは、事前に、リフトオフ量を一定とし、前記溶け込み深さ（ｘ）と前記磁気センサーの検出出力との関係を示す第１データを求めておき、前記演算手段は、前記リフトオフ量検出センサー（１５）で検出したリフトオフ量の変動値を用いて前記溶接部の状態を示す信号を補正し、前記事前に求めた第１データを参照して前記リフトオフ量の変動値で補正した溶接部の状態を示す信号から前記溶け込み深さ（Ｘ）を算出する。

【発明の効果】
【００１７】
本発明によれば、非破壊方式で、たとえば、金属ベローズアキュムレータシェル溶接部の溶け込み深さのように、深さがあり、たとえば、溶接ビードの形成による変動などによるリフトオフ量の変動がかなり大きい場合でも、正確に、かつ、非破壊方式で、溶接部の状態を検査できる。
【発明を実施するための最良の形態】
【００１８】
第１実施の形態
本発明の溶接部の溶け込み深さを検査する装置の第１実施の形態として、溶接部溶け込み量検査装置について述べる。
【００１９】
図１は本発明の第１実施の形態の溶接部の溶け込み深さを検査する装置１（以下、検査装置）１の構成図である。
検査装置１は、磁気センサー１１と、磁気センサー駆動・検出装置（回路）１３と、リフトオフ量を検出する距離センサー（本発明におけるリフトオフ量検出センサー）１５と、距離センサー駆動・検出装置（回路）１７と、エンコーダ１９と、検査テーブル２２とモータ２３からなる回転テーブル２０と、モータ駆動装置（回路）２５と、信号処理装置３０とを有する。
検査対象の製品５０が検査テーブル２２に載置されている。
【００２０】
検査対象の製品５０は、たとえば、金属ベローズアキュムレータのシェルであり、そのシェルを、溶接手段、たとえば、CO_2 レーザを用いて溶接している。製品５０には溶接された部分が図２に断面を例示したようにビード状の溶接部５２（以下、ビード部５２）として形成されている。
【００２１】
図２は溶接によって製品５０に溶け込み深さＸで形成されたビード部５２の拡大図である。
溶け込み深さＸは、検査対象が金属ベローズアキュムレータのシェルの場合、図１４を参照して後述するように、CO_2 レーザの溶接出力に応じて、数ｍｍ～１０ｍｍ程度まで変化する。
なお、製品５０の透磁率をμ50とし、ビード部５２の透磁率をμ52とする。通常、μ50＞μ52の関係にある。
【００２２】
図３は信号処理装置３０の構成を示す図である。
信号処理装置３０は、コンピュータ、たとえば、マイクロプロセッサで構成されており、下記に述べる各種演算制御処理を行うＣＰＵ３１と、ＣＰＵ３１で動作する各種プログラム、それに用いる各種パラメータなどを記憶しているＲＯＭ３２と、一時的に各種データを保存するＲＡＭ３３と、後述する検査において大量のデータを保存するハード・ディスク３４と、下記に述べる各種操作をオペレータと対話形式で行い、および／または、測定結果などを表示するキーボード付き表示装置３５と、インターフェース（Ｉ／Ｆ）部３６とを有し、これらがバス３７を介して相互に接続されている。
キーボード付き表示装置３５の表示パネル（ＤＳＰ）とキーボード（ＫＢ）が図１に例示されている。
Ｉ／Ｆ部３６には、磁気センサー駆動・検出装置（回路）１３、距離センサー駆動・検出装置１７、モータ駆動装置２５が接続されており、ＣＰＵ３１と上記装置（回路）との間で信号の授受を行う。
【００２３】
図１に図解した検査装置１は、中空円筒形の製品５０の外周に形成されたビード部５２を連続的に検査可能な装置である。

モータ駆動装置２５は、信号処理装置３０のＩ／Ｆ部３６を経由したＣＰＵ３１からのモータ駆動制御信号をモータ２３を駆動する信号に変換する。たとえば、モータ駆動装置２５は、トランジスタを用いたモータドライバ回路を有し、ＣＰＵ３１からのモータ２３を回転制御させるモータ駆動制御信号に応じてモータ２３を回転させる。

信号処理装置３０のＣＰＵ３１は、モータ駆動装置２５を介してモータ２３を連続的に駆動して検査テーブル２２を連続的に回転させることが可能である。それにより、検査テーブル２２に載置された製品５０が連続的に回転し、ビード部５２に対向する固定位置にそれぞれ固定されている磁気センサー１１および距離センサー１５の周囲を回転する。

【００２４】

エンコーダ１９はモータ２３の回転軸に接続され、モータ２３の回転位置を検出して、製品５０の回転位置を検出する。

信号処理装置３０のＣＰＵ３１はエンコーダ１９が検出した回転位置信号を読み取る。それにより、ＣＰＵ３１は、磁気センサー１１と距離センサー１５とが製品５０のどの回転位置を検出しているかを知ることができる。

エンコーダ１９は、磁気センサー１１と距離センサー１５とがビード部５２のどの部分を検査しているかを示す情報であるとともに、磁気センサー１１と距離センサー１５との位置が異なる場合に磁気センサー１１の検出コイル１１２の検出信号と、距離センサー１５の距離検出信号の位置合わせ（位置調整）をする場合に使用する。

【００２５】

磁気センサー１１と距離センサー１５とは、製品５０の回転と相対的に回転可能に配置されている。

本実施の形態では、製品５０が回転テーブル２０の検査テーブル２２に載置されて回転され、磁気センサー１１と距離センサー１５とは固定されている。

逆に、製品５０を固定させ、磁気センサー１１と距離センサー１５とを製品５０の周囲に回転することもできる。その場合、固定された製品５０に対する距離センサー１５の回転と、磁気センサー１１の回転を独立に行うことかもできる。　このように、本実施の形態においては、製品５０と磁気センサー１１との回転、製品５０と距離センサー１５との回転が、同時または独立に、相対的になっていればよい。

以上から、ＣＰＵ３１、モータ２３、回転テーブル２０は、磁気センサー１１と製品５０とを相対的に移動させる第１移動手段として機能する。同様に、ＣＰＵ３１、モータ２３、回転テーブル２０は、距離センサー１５と製品５０とを相対的に移動させる第２移動手段として機能する。

なお以下、本実施の形態では、第１移動手段と第２移動手段とが一体化されている場合について述べる。

【００２６】

磁気センサー

磁気センサー１１と磁気センサー駆動・検出装置１３の詳細を述べる。

図４は、磁気センサー１１の断面構成と、磁気センサー駆動・検出装置１３の回路構成例を示す図である。

磁気センサー１１は電磁誘導作用を利用して磁性体内の渦電流を検出するセンサであり、たとえば、図４に概略断面を示したように、製品５０のビード部５２に対向して配置される、平面が環状の励磁コイル１１１と、平面が環状の検出コイル１１２とを有する。

磁気センサー駆動・検出装置１３は、高周波電源１３１と、フィルタ回路１３２と、位相差・振幅差検波（検出）回路１３３とを有する。

高周波電源１３１は、ＣＰＵ３１からの指令に基づいて、周波数ｆの高周波電流を励磁コイル１１１に印加して励磁コイル１１１を励磁させてビード部５２を含む製品５０（検査部位）に磁界を印加して検査部位内に渦電流を浸透させる。検出コイル１１２はビード部５２を含む製品５０における渦電流に基づく磁束（磁界）を検出する。検出コイル１１２は製品５０およびビード部５２（検査部位）の状態を示す信号、すなわち、製品５０に対するビード部５２の溶け込み深さ状態を示す信号を検出する。

フィルタ回路１３２は検出コイル１１２で検出した検査部位の状態を表す信号に含まれるノイズ成分を除去する。位相差・振幅差検出回路１３３はフィルタ回路１３２でノイズ成分が除去された信号を検波して検査部位の状態を表す信号を抽出する。

検査部位の状態を表す信号は、図７に参照して述べるように、位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和で表される出力信号V_0である。

【００２７】

渦電流を検査部位に作用させ、発生した渦電流を検出するためには、励磁コイル１１１と検出コイル１１２とを、ビード部５２に対向し、かつ、ビード部５２の外周に極力接近させることが望ましい。しかしながら、磁気センサー１１をビード部５２にあまり接近させると、製品５０が回転した場合に製品５０から突出するビード部５２の突起（リフトオフ）部分に接触する可能性がある。それで、磁気センサー１１は製品５０および／またはビード部５２から所定距離離隔して配置されている。たとえば、磁気センサー１１は製品５０の外周から約２ｍｍ程度離隔して配設されている。

【００２８】

ＣＰＵ３１は、モータ２３を駆動して回転テーブル２０に載置されている製品５０を回転させ、製品５０の回転に伴うエンコーダ１９のモータ２３の回転位置検出値とともに、位相差・振幅差検出回路１３３からの検査部位の状態を表す信号、すなわち、位相差および振幅差のベクトル和で表される出力信号V_0を入力して、たとえば、ハード・ディスク３４に連続的に記憶していく。

【００２９】

磁気センサー１１を用いた製品５０に対するビード部５２の溶け込み深さの検出方法について述べる。

【００３０】

渦電流と浸透深さδとの関係

式１は、渦電流の溶接部への浸透深さδと、渦電流を発生させるため励磁コイル１１１に印加する周波数ｆ、検査部位、たとえば、本実施の形態における製品５０とビード部５２の透磁率との関係を示す式である。

【００３１】

【数１】

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

ただし、fは周波数(Hz)であり、
μは検査対象の材質の透磁率であり、
σは検査対象の材質の導電率である。 ・・・(1)

【００３２】

式１から、周波数ｆが低いほど、または、透磁率μが小さくなるほど、励磁コイル１１１による磁界に基づくビード部５２を含む製品５０（検査部位）への渦電流の浸透深さδが深くなることが分かる。他方、透磁率μが大きくても周波数ｆが高くなれば、励磁コイル１１１による磁界に基づく検査部位への渦電流の浸透深さδは浅くなることが分かる。

本実施の形態においては、製品５０（シェル）の厚さと、ビード部５２の溶け込み深さＸと、製品５０の透磁率μ50と、ビード部５２の透磁率μ52とを考慮して高周波電源１３１から励磁コイル１１１に印加する周波数ｆを決定している。

製品５０の透磁率μ50とビード部５２の透磁率μ52は既知であり、製品５０とビード部５２の導電率σ50およびσ52も既知である。なお、本実施の形態において、製品５０の透磁率μ50はビード部５２の透磁率μ52より大きい（μ50＞μ52）。

【００３３】

式２は、検出コイル１１２の検出信号の位相遅れφと、検査部位、たとえば、本実施の形態における製品５０に対するビード部５２の溶け込み深さＸとの関係を示す式である。

【００３４】
【数２】

$$\phi = X\sqrt{\pi f \mu \sigma} = \frac{X}{\delta}$$

ただし、Φは位相遅れ(rad)であり、
Xは距離（深さ）である。　　・・・（２）

【００３５】
このように、位相遅れφは、検出コイルによる磁界に基づく渦電流の検査部位（製品５０とビード部５２）への浸透深さδと、検査部位の溶け込み深さＸとで規定できる。換言すれば、本実施の形態における製品５０に対するビード部５２の溶け込み深さＸは、渦電流の浸透深さδと位相遅れφとで規定できる。
このように、位相遅れφは、溶接部、たとえば、ビード部５２の製品５０に対する深さを示す情報を表している。
上述したように、ビード部５２の透磁率μ52は小さく、ビード部５２の透磁率μ50が大きいから、たとえば、励磁コイル１１１に印加する周波数ｆを固定した条件で励磁コイル１１１を励磁させたとき、位相遅れφを観察すれば、ビード部５２の製品５０に対する深さ、すなわち、溶け込み深さＸを推定することが可能である。
しかしながら、実際は検出コイル１１２では位相遅れφのみを検出することはできず、検出コイル１１２は、図７に参照して述べるように、位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号$Ｖ_0$を検出する。
【００３６】
図５（Ａ）、（Ｂ）は、磁気センサー１１の検出コイル１１２で検出する渦電流に基づく検査部位（たとえば、ビード部５２を含む製品５０）の磁束分布を示す図である。
製品５０に傷がなく、または製品５０とは透磁率の異なるビード部５２などの異物がなく（逆に、ビード部５２部分に製品５０が存在せず）、製品５０またはビード部５２内に透磁率が異なる巣などの欠陥が存在しなければ、製品５０またはビード部５２内の渦電流分布の乱れはないから検出コイル１１２で検出する磁気分布は歪みがなく、図５（Ａ）に例示したようになる。
他方、検査対象、たとえば、製品５０とは透磁率の異なるビード部５２などの異物が存在したり（逆に、ビード部５２部分に製品５０が存在したり）、製品５０またはビード部５２内に巣などの透磁率が異なる欠陥が存在すれば、たとえば、図５（Ｂ）に例示したように、検出コイル１１２で検出する上記異物などが存在する部分の磁束分布が歪む。
【００３７】
図６は渦電流を発生させるための磁気センサー１１の励磁コイル１１１の駆動電流の波形$Ｖ_{tra}$と、磁気センサー１１の検出コイル１１２で検出する信号の波形$Ｖ_{rec}$について時間的に変化する様子を表した図である。
検出コイル１１２からは波形$Ｖ_{tra}$で示される渦電流をビード部５２に印加し、検出コイル１１２が波形$Ｖ_{rec}$で示される信号を検出する。波形$Ｖ_{tra}$と波形$Ｖ_{rec}$との間には、位相差Δφと振幅差ΔＨがある。
図７は振幅差ΔＨを横軸にとり、位相差Δφを縦軸にとったグラフを示す。
検出部位（ビード部５２）の状態を示す信号は、図７に図解したように、位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号$Ｖ_0$として表される。
【００３８】
リフトオフ量補正および距離センサー
本願発明者は、図７における振幅差ΔＨおよび位相差Δφが、検査部位であるビード部５２のリフトオフ量に大きく依存することを見い出した。
そこで、本実施の形態においては、リフトオフ量検出センサーとして使用する距離センサー１５によってビード部５２のリフトオフ量を測定し、信号処理装置３０においてリフ

トオフ量の変動による補正を行う。
リフトオフ量とは、溶接部であるビード部５２の面の高低を意味する値である。その様なリフトオフ量としては、下記に種々の測定方法が考えられる。
リフトオフ量として、製品５０の基準面、たとえば、製品５０の外表面を基準面として、その基準面からのビード部５２の各部分の高さとしてもよい。あるいは、リフトオフ量として、ビード部５２全周についての平均的な高さに対するビード部５２の各部分の高低としてもよい。
本実施の形態では、リフトオフ量を測定する方法として、簡便に、距離センサー１５と製品５０の表面との距離がほぼ一定であることを想定し、距離センサー１５からビード部５２の面までの距離をリフトオフ量としている。あるいは、距離センサー１５からビード部５２の面までの距離を簡便に、リフトオフ量としている。以下、本実施の形態では、後者の例について述べる。
なお、距離センサー１５から製品５０の外周面、または、距離センサー１５からビード部５２の外周面までは一定ではない。なぜなら、回転テーブル２０に載置された製品５０が全く偏心せずに回転するわけではないからである。そこで、距離センサー１５で測定したリフトオフ量の絶対値を用いずに、ビード部５２のリフトオフ量の平均値をも考慮してリフトオフ量を処理する。
【００３９】
距離センサー１５はこのように、本実施の形態においてリフトオフ量検出センサーとして機能するが、距離センサー１５も、磁気センサー１１と同様に、製品５０のビード部５２に対向して配設されており、相対的に回転される。
このような距離センサー１５としては、渦電流方式の距離センサー、または、図８に図解した光学式の距離センサーを用いることができる。
【００４０】
距離センサー１５として磁気センサー１１と同様の検出原理に基づく渦電流方式の距離センサを用いた場合、距離センサー駆動・検出装置１７は、磁気センサー１１の励磁コイル１１１と同様の励磁コイルに渦電流を発生させ、磁気センサー１１の検出コイル１１２と同様の検出コイルで距離を示す信号を検出する。
渦電流方式の距離センサを用いた場合、距離センサー駆動・検出装置１７は、磁気センサー駆動・検出装置１３における高周波電源１３１と、フィルタ回路１３２と、位相差・振幅差検出回路１３３に類似する回路構成となる。ただし、距離センサー１５からの磁界をビード部５２の奥深く作用させる必要はないから、高周波電源１３１から距離センサー１５の励磁コイルに印加する周波数は高周波電源１３１から磁気センサー１１の励磁コイル１１１に印加する周波数とは異なる。もちろん、距離センサー１５のための位相差・振幅差検出回路１３３に対応する回路は距離センサー１５からビード部５２までの距離を示す信号を検波（検出）する回路となる。
好ましくは、ＣＰＵ３１は、モータ２３を駆動して、製品５０を回転させ、磁気センサー１１で検出した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0とともに、渦電流方式の距離センサー１５で検出したビード部５２までの距離Ｄをビード部５２の１周について求め、エンコーダ１９の検出値に対応させて、たとえば、信号処理装置３０のハード・ディスク３４に記憶しておく。
【００４１】
距離センサー１５として渦電流方式の距離センサを用いた場合、渦電流を用いて検出する磁気センサー１１に影響する距離の情報と同様の情報を得ることができるという利点、および、渦電流方式の距離検出は検査部位（製品５０および／またはビード部５２）の比較的広い領域について距離を検出するので、その領域についての平均的な距離を求めることができるという利点がある。
他方、渦電流方式の距離センサを用いた場合、同じ渦電流が干渉しあうほど磁気センサー１１と距離センサー１５とを相互に接近させて配置することができない。
【００４２】

図８（Ａ）、（Ｂ）は光学式の距離センサー１５と、距離センサー駆動・検出装置１７の回路構成例とその動作を示す図である。

光学式距離センサー１５は、発光素子１５１と受光素子１５２を有する。

距離センサー駆動・検出装置１７と発光素子励起回路１７１と、受光信号検出回路１７２と、時間測定・制御回路１７３とを有する。

時間測定・制御回路１７３がＣＰＵ３１により起動されると、時間測定・制御回路１７３は所定時間間隔で周期的に発光素子励起回路１７１を駆動する。発光素子励起回路１７１はパルス状の周期的な励起信号Ｓ１７１を発光素子１５１に印加する。それにより、発光素子１５１が周期的に励起されて発光してビード部５２に光を照射する。受光素子１５２は発光素子１５１からビード部５２に照射されて反射する反射光を受光する。受光信号検出回路１７２は、受光素子１５２の検出信号を入力し、時間測定・制御回路１７３に出力する。時間測定・制御回路１７３は、発光素子励起回路１７１が発光素子１５１の励起開始したときから受光信号検出回路１７２が受光素子１５２の信号を受信したときまでの時間Δｔを測定する。

光学式距離センサー１５内において、ビード部５２に対して発光素子１５１と受光素子１５２がほぼ同じ位置に位置していると仮定すると、時間測定・制御回路１７３で求めた時間は、発光素子１５１または受光素子１５２とビード部５２との間を往復した時間である。

【００４３】

ＣＰＵ３１は時間測定・制御回路１７３の測定時間を所定時間間隔でインターフェース部３６を介して入力する。ＣＰＵ３１は、時間測定・制御回路１７３の測定時間Δｔと、発光素子１５１の光の伝搬速度ｖから、Ｄ＝（Δｔ×ｖ）／２として、発光素子１５１または受光素子１５２とビード部５２との距離Ｄを求める。

好ましくは、ＣＰＵ３１は、モータ２３を駆動して製品５０を回転させ、距離Ｄをビード部５２の１周について求め、磁気センサー１１の検出コイル１１２で検出する位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号$Ｖ_{0}$とともに、ビード部５２の１周分の距離Ｄをエンコーダ１９の検出値に対応させて、たとえば、ハード・ディスク３４に記憶していく。

【００４４】

光学式の距離センサを用いた場合、渦電流方式の磁気センサー１１とは干渉しあうことがないから磁気センサー１１に接近させて配置することもできるという利点がある。さらに、渦電流方式による距離センサよりも微小領域の検査部位について正確に距離を測定できるという利点がある。なお、検査部位の平均的な距離は信号処理装置３０で演算して求めることができる。

【００４５】

磁気センサー１１と距離センサー１５との位置関係は、距離センサー１５の種類（渦電流方式か光学式か）と測定方法に依存して決めることができる。

測定方法については、たとえば、まず、磁気センサー１１を用いて製品５０の１周についてビード部５２の溶接状態を測定する前に、距離センサー１５を用いて製品５０の１周についてビード部５２のリフトオフ量を測定する場合、あるいは、その逆に、磁気センサー１１で製品５０の１周についてビード部５２の溶接状態を測定した後、距離センサー１５でビード部５２１周のリフトオフ量を測定する場合は、磁気センサー１１と距離センサー１５とはそれぞれ任意の位置に置くことができる。

他方、検査時間の短縮を図るため製品５０を１回転する間、距離センサー１５によってビード部５２のリフトオフも測定しながら、磁気センサー１１でビード部５２の溶接状態の検査データを取得する場合は、光学式距離センサー１５を用いた場合、エンコーダ１９の検出位置が同じ位置について、磁気センサー１１と距離センサー１５の検出ができるから、磁気センサー１１と距離センサー１５とを接近させることが好ましい。しかしながら、渦電流方式の距離センサー１５を用いた場合は、磁気センサー１１と距離センサー１５とは余り接近させることができないので、たとえば、磁気センサー１１と距離センサー１５とを製品５０を挟んで、９０度、１８０度、２７０度離れた位置などに配置する。本実

施の形態では、磁気センサー１１と渦電流方式の距離センサー１５とを製品５０を挟んで１８０度離れた位置に配置した場合を例示する。

【００４６】

光学式または渦電流方式の距離センサー１５を、ビード部５２の近傍の上下の位置の製品５０の外周を測定可能な位置に設定して、ＣＰＵ３１がモータ２３を駆動して製品５０を回転させながら、上記同様に距離センサー駆動・検出装置１７と距離センサー１５を駆動して、製品５０、１周について、エンコーダ１９の位置検出値に対応させて求めて、ハード・ディスク３４に記憶する。この値が本実施の形態において、ビード部５２のリフトオフ量を示す値になる。

【００４７】

図９（Ａ）は、磁気センサー１１の検出コイル１１２で検出した、位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号$Ｖ_0$の生データを示す曲線ＣＶ１と、渦電流方式または光学式距離センサー１５で測定したリフトオフ量を示す距離測定結果$ｄ_0$の生データを示す曲線ＣＶ２とを、エンコーダ１９の位置検出信号とともに、時間経過に応じて連続的に、たとえば、ハード・ディスク３４に記憶した結果を示す図である。なお、ＣＰＵ３１は通常、モータ２３を一定回転数で回転させるから、エンコーダ１９の位置検出信号と時間経過とは比例しており、図９（Ａ）の横軸はエンコーダ１９の位置検出位置を示している。

図９（Ａ）において線で結んだように、曲線ＣＶ１の開始点位置と、曲線ＣＶ２の開始点位置とがずれている。そこで、信号処理装置３０のＣＰＵ３１はハード・ディスク３４に記憶されている両者のデータの位置合わせを行う。図９（Ｂ）はＣＰＵ３１によりエンコーダ１９の位置検出値による位置修正を行った場合を、曲線ＣＶ１ａと曲線ＣＶ２ａとして示す。曲線ＣＶ１と曲線ＣＶ１ａとは同じであり、曲線ＣＶ２の始点を曲線ＣＶ１の始点に位置合わせをした例を示している。

このように、エンコーダ１９の回転位置検出信号（または位置時間経過）に応じて連続的に測定した結果から、信号処理装置３０においてエンコーダ１９の検出位置に基づく補正を行うことにより、検出コイル１１２の検出結果および距離センサー１５の対応関係が正確になる。

換言すれば、このような位置合わせを行うので、磁気センサー１１と距離センサー１５との配置関係は任意でよい。ただし、リフトオフ量検出センサーとして磁気センサー１１と同様の磁気的な距離センサー１５を用いた場合は磁気的な相互干渉を排除するため、上述したように、磁気センサー１１と磁気的な距離センサー１５とは所定間隔離す必要がある。

【００４８】

図１０は、横軸に示した、距離センサー１５で測定し、エンコーダ１９の位置検出値を参照して位置合わせを行ったリフトオフ量の変動（距離変動）値ＣＶ２ａ、すなわち、ビード部５２のリフトオフ量の変動値ＣＶ２ａと、縦軸に示した、磁気センサー１１の検出コイル１１２の検出値、すなわち、位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和について位置補正した出力信号ＣＶ１ａとの相関関係を示すグラフである。

検出コイル１１２で検出されたベクトル和の位置合わせ後の出力信号ＣＶ１ａは、リフトオフ量の変動値ＣＶ２ａにより図１０に例示したように、ほぼ直線状に変化する。

本実施の形態においては、リフトオフ量の変動値（距離の変動値）ＣＶ２ａと、位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和について位置補正した出力信号ＣＶ１ａとは、たとえば、ＣＶ１ａ＝－７．９５５５ＣＶ２ａ＋０．１７１６として表されるように、一次式で近似できた。したがって、信号処理装置３０における位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和$Ｖ_0$について位置補正した出力信号ＣＶ１ａに対するリフトオフ量の変動値（距離の変動値）ＣＶ２ａの補正は簡単かつ容易である。

【００４９】

図１１は、図９（Ｂ）に示した、位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和$Ｖ_0$について位置補正した出力信号ＣＶ１ａを、距離センサー１５で測定したリフトオフ量の変動値（距離の変動値）ＣＶ２ａを用いて、ＣＰＵ３１において、実際に補正した結果を示す図であ

る。横軸は、エンコーダ１９で測定した製品５０の外周方向の位置である。その補正式を下記に示す。

【００５０】

【数３】

$$V_{(y)} = V_0 - (d - d_{ave}) \times A$$

$V_{(y)}$:補正した磁気センサー出力

V_0 :補正前の磁気センサー出力

d :V_0の位置の距離変動値

d_{ave} :距離変動値の平均

A :距離と磁気センサー出力の相関関数の係数 ・・・(3)

【００５１】

リフトオフ量の変動値（距離の変動値）ＣＶ２ａの平均値d_{ave}を用いたのは、製品５０が偏心した回転し、距離センサー１５に対するビード部５２の位置が、リフトオフ量に変動がない場合でも、偏心量だけ変動するから、それを修正するためである。

Ａは距離（リフトオフ量）と磁気センサー１１の相関関係を近似するため、最小二乗法で近似した一次式の傾きである。

【００５２】

溶け込み深さの測定例

実際に検査対象の溶け込み深さＸを測定する前に、基準となる金属ベローズアキュムレータのシェルを、溶接手段、たとえば、炭酸ガス（CO_2）レーザを用いて溶接した。

CO_2レーザの溶接出力を、２０００Ｗ（ワット）、２５００Ｗ、３０００Ｗ、３５００Ｗ、４０００Ｗ、４７５０Ｗ、５０００Ｗ、５５００Ｗと変化させた。溶接出力の大きさに応じてビード部５２の溶け込み深さＸは変化する。

上述した検査装置１を用いて、基準となる金属ベローズアキュムレータのシェルの溶接部（ビード部５２）の溶け込み深さを非破壊方式で測定した。

測定例の条件は、製品５０の１周の回転速度が、１周／７秒、磁気センサー１１と製品５０（またはビード部５２）との間の離隔距離が２ｍｍ、高周波電源１３１の発振周波数が固定で２．３８ｋHzであり、１周当たり、２０００点のデータを測定した。

上記測定結果の例のうち、CO_2レーザの溶接出力を、３０００Ｗ、４０００Ｗ、５０００Ｗとしたときの測定結果を、図１２（Ａ）～（Ｃ）に例示する。

図１２（Ａ）～（Ｃ）において、曲線ＣＶＶ０は検出コイル１１２で検出した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0の生データを示し、曲線ＣＶｄは距離センサー１５で測定したリフトオフ量変動値を意味する距離センサー１５の測定値の変動値（距離変動値）を位置合わせした信号ＣＶ２ａを示し、曲線ＣＶＶは図１１を参照して述べたように位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0をリフトオフ量変動値で補正した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号ＣＶ１ａを示す。

Ａは、距離（リフトオフ量）と磁気センサー１１の相関関係を近似するため、最小二乗法で近似した一次式の傾きである。

【００５３】

図１３はCO_2レーザの種々の溶接出力と、式３から得た磁気センサー１１の出力の位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0の１周の平均値Ｖとの関係を示すグラフである。

【００５４】

図１４は各溶接条件で製造した製品をカットし、実際にビード状の溶接部５２の溶け込み深さを測定した値と、CO_2レーザの種々の溶接出力との関係を示すグラフである。図１４は、たとえば、CO_2レーザの溶接出力が４０００Ｗのときは正規の溶け込み深さは

５．８ｍｍであり、CO_2 レーザの溶接出力が５０００Ｗのときは正規の溶け込み深さは７．０ｍｍであることを示している。

【００５５】

図１５は以上の結果を用いて、磁気センサー１１の出力平均値V_{ave}と、ビード状の溶接部５２の溶け込み深さＸとの関係をプロットした図である。

図１５の結果を、たとえば、最小二乗近似法などで近似処理を行えば、比較的広い範囲について、磁気センサー１１の出力の平均値V_{ave}と溶け込み深さＸとの関係を求めることができる。また、ビード状の溶接部５２の各点におけるベクトル和出力信号のリフトオフ量による補正値ＣＶ２ａ（Ｖ（ｙ））を用いることで、ビード状の溶接部５２の各点における溶け込み深さＸを求めることもできる。

なお、CO_2 レーザの溶接出力が３０００Ｗ～５０００Ｗの範囲で溶接した場合の溶け込み深さを検査する場合には、直線で近似することもできる。直線近似式を下記に示す。

【００５６】

【数４】

$$V(y) = 0.3927X - 1.1982$$

または

$$X = 2.546V(y) + 3.051 \quad \cdots(4)$$

【００５７】

式４を適用すると、信号処理装置３０のＣＰＵ３１において、検出コイル１１２の検出結果を補正した平均値（位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号の平均値（Ｖ（ｙ））から、ビード部５２の溶け込み深さＸを求めることができる。

【００５８】

なお、式４に例示した係数は、事前に基準となる検査対象について種々の溶接出力で溶接し、溶け込み深さとの関係を上述した非破壊方式で測定して求めておく。

以上の処理内容を整理すると図１６のフローチャートに示したように、下記になる。

【００５９】

ステップ１、準備動作

式４の係数を求めるために、下記の準備動作を行う。

（１）基準となる検査対象、たとえば、金属ベローズアキュムレータのシェル（製品５０）について、溶接手段、たとえば、CO_2 レーザの溶接出力を種々変化させて溶接を行う。

（２）それらの溶接結果物を検査装置１を用いて検査し、検出コイル１１２の検出結果、距離センサー１５の検出結果、および、エンコーダ１９の検出結果から、図１２（Ａ）～（Ｃ）に例示した、曲線ＣＶＶ０（検出コイル１１２で検出した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0 の生データ）、曲線ＣＶｄ（距離センサー１５で測定したリフトオフ量を意味する距離の、エンコーダ１９で検出した位置信号で位置合わせした後のデータ）で示されるデータが得られ、信号処理装置３０のハード・ディスク３４に記憶される。

（３）信号処理装置３０は曲線ＣＶＶで示したように、図１１を参照して述べたようにリフトオフ量で補正した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号Ｖを示す結果をさらに求めて、ハード・ディスク３４に記憶する。

（４）図１３および図１４に例示したデータから、図１５に例示した溶け込み深さＸと、磁気センサー１１の出力平均値V_{ave}との関係を整理して、式４に例示した磁気センサー１１の出力平均値と溶け込み深さとの関係式における係数を求める。

（５）求めた式４の関係式を信号処理装置３０のハード・ディスク３４などに記憶しておく。

以下、実際の検査対象である金属ベローズアキュムレータのシェル（製品５０）のビード部５２について検査処理を行う。

【００６０】
ステップ２、検査準備動作
たとえば、CO_2 レーザで溶接されてビード部５２が形成された金属ベローズアキュムレータのシェル（製品５０）を検査テーブル２２に載置する。
磁気センサー１１および距離センサー１５は、製品５０の周囲に所定間隔を隔てて配置されているものとする。
【００６１】
ステップ３、データ採取動作
信号処理装置３０を動作させて下記の動作を行う。
（１）ＣＰＵ３１が、モータ駆動装置２５を介してモータ２３を駆動して検査テーブル２２を回転させ、製品５０を回転させる。
（２）ＣＰＵ３１は、モータ２３の回転と同時に、エンコーダ１９の検出値、磁気センサー１１の検出値、距離センサー１５の検出値を所定時間間隔で入力し、ハード・ディスク３４に連続的に記憶していく。このデータ採取動作を製品５０が１回転するまで連続して行う。その結果、CO_2 レーザの溶接出力に応じた図１２（Ａ）のいずれかに対応する特性、すなわち、曲線ＣＶＶ０（検出コイル１１２で検出した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0 の生データ）、および、曲線ＣＶ２（距離センサー１５で測定したリフトオフ量を意味する距離の生データ）で示されるデータが得られる。
（３）好ましくは、ＣＰＵ３１は、曲線ＣＶ１および曲線ＣＶ２で示されるデータをキーボード付き表示装置３５に表示することでできる。
【００６２】
検査条件としては、たとえば、製品５０の１周の回転速度が、１周／７秒、磁気センサー１１と製品５０（またはビード部５２）との間の離隔距離が２ｍｍ、高周波電源１３１の発振周波数が固定で２．３８ｋHzであった。
【００６３】
ステップ４、位置合わせ処理
ＣＰＵ３１は、ハード・ディスク３４に記憶されたエンコーダ１９の位置検出信号を用いて、磁気センサー１１の位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0 と、距離センサー１５の検出信号との位置合わせを行う（図９、図１１参照）。）
【００６４】
ステップ５、リフトオフ量補正処理
ＣＰＵ３１は、図１２（Ａ）のいずれかにおける曲線ＣＶＶで示したように、リフトオフ量、すなわち、距離センサー１５で測定した距離で補正した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号Ｖを示す結果を求めて、ハード・ディスク３４に記憶する。
好ましくは、ＣＰＵ３１は、曲線ＣＶＶ０および曲線ＣＶｄで示されるデータと加えて、曲線ＣＶＶで示されるデータをキーボード付き表示装置３５に表示することでできる。
【００６５】
ステップ６、溶け込み深さの演算
ＣＰＵ３１は、ハード・ディスク３４に記憶された補正した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号Ｖ（ｙ）を、事前に得られた式４に適用して、製品５０のビード部５２の各部分の溶け込み深さＸを演算する。この演算処理をビード部５２の全域について行う。
好ましくは、ＣＰＵ３１は、演算して求めた溶け込み深さＸをキーボード付き表示装置３５に表示することができる。
【００６６】
ステップ７、溶接良否判定
好ましくは、検査技師は、図１４に例示したいずれかに例示される、CO_2 レーザの溶接出力に応じた基準の溶け込み深さに余裕、たとえば、±１０％の余裕を付加した制限値、たとえば、上限値と下限値とを事前に、キーボード付き表示装置３５を用いて、たとえば、ハード・ディスク３４に記憶しておく。

ＣＰＵ３１は、好ましくは、ステップ６において得た溶け込み深さが、制限値内に入っているか否かを判定し、制限値から逸脱した場合、その位置データ（エンコーダ１９の検出値）とともに、溶け込み深さをキーボード付き表示装置３５および／または図示しないプリンタ装置に出力して、検査技師に注意を喚起させたり、検査結果として記録することができる。

【００６７】

以上のとおり、本実施の形態においては、（１）磁気センサー１１により位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0を検出し、また、距離センサー１５によりビード部５２のリフトオフ量を検出し、（２）必要に応じて、位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0とリフトオフ量との位置合わせを行い、（３）位置合わせをした位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0をリフトオフ量で補正し、（４）補正した位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号Ｖ（ｙ）を事前に求めた係数を求めた式４の演算を行うことにより、ビード部５２の溶け込み深さＸを求めることができる。

また、必要に応じて、溶け込み深さＸの良否判定を行う。

【００６８】

本発明の第１実施の形態によれば、非破壊方式で、たとえば、溶接部の溶け込み深さのように、深さがあり、たとえば、溶接ビードの形成による変動などによるリフトオフ量の変動がかなり大きい場合でも、正確に、かつ、非破壊方式で、溶接部の状態を検査できた。

また本発明の第１実施の形態の溶接部の溶け込み深さを検査する装置１は、比較的簡単な構成である。

【００６９】

第２実施の形態

第１実施の形態は検査対象として、図２に図解した、たとえば、金属ベローズアキュムレータのシェルであり、そのシェルを、たとえば、CO_2レーザを用いて溶接した製品５０について述べた。

本発明の第２実施の形態における検査対象は、製品５０のように円筒状の製品ではなく、図１７に例示したように平坦状の金属板６０にビード部６２を溶接によって形成した場合の溶接部の溶け込み深さを検査する例について述べる。

【００７０】

第２実施の形態においても、ビード部６２を含む金属板６０と、磁気センサー１１および距離センサー１５とを相対的に移動させるが、第２実施の形態では、金属板６０を回転させず、水平に移動させる。あるいは、金属板６０を固定して磁気センサー１１と距離センサー１５とを水平に移動させる。それにより、ビード部６２の長手方向に沿って、距離センサー１５によるリフトオフ量、磁気センサー１１による溶け込み深さＸを示す情報が得られる。

このとき、エンコーダ１９に代えて、リニアセンサのように水平移動位置を検出する位置検出センサを用いる。

磁気センサー１１、距離センサー１５、リニアセンサの目的は第１実施の形態と同じである。

磁気センサー１１の励磁コイル１１１に印加する周波数ｆは、金属板６０の透磁率、ビード部６２の溶け込み深さＸなどに応じて決定する。

【００７１】

本発明の第２実施の形態によれば、第１実施の形態と同様、非破壊方式で、たとえば、溶接部の溶け込み深さのように、深さがあり、たとえば、溶接ビードの形成による変動などによるリフトオフ量の変動がかなり大きい場合でも、正確に、かつ、非破壊方式で、溶接部の状態を検査できた。

また本発明の第２実施の形態の溶接部の溶け込み深さを検査する装置は、比較的簡単な構成である。

【００７２】

本発明の溶接部の溶け込み深さを検査する装置と方法を実施するには上述した実施の形態に限定されず、種々の変形態様をとることができる。

【００７３】

たとえば、検査対象としては、上述した金属ベローズアキュムレータのシェルに限定されない。たとえば、第１透磁率を持つ第１磁性体としての製品５０に第２透磁率を持つ第２磁性体が埋め込まれている場合に、両者の透磁率との相違に基づいて、磁気センサー１１で位相差Δφと振幅差ΔＨのベクトル和出力信号V_0を検出すれば、上述した金属ベローズアキュムレータのシェルのビード部５２を検査したと同様に第２磁性体の埋め込み深さを測定または検査できる。

【図面の簡単な説明】

【００７４】

【図１】図１は本発明の非破壊検査装置の第１実施の形態の溶接部溶け込み量検査装置の構成図である。

【図２】図２は溶接によって製品に形成されたビード部の拡大図である。

【図３】図３は図１に示した信号処理装置の構成を示す図である。

【図４】図４は、磁気センサーの断面構成と、磁気センサー駆動・検出装置の回路構成例を示す図である。

【図５】図５（Ａ）、（Ｂ）は、磁気センサーの検出コイルで検出する渦電流に基づくビード部（溶接部）を含む製品の正常状態と、正常でない状態の磁束分布を示す図である。

【図６】図６は渦電流を発生させるための磁気センサーの励磁の駆動電流の波形V_{tra}と、磁気センサーの検出コイルで検出する信号の波形V_{rec}について時間的に変化する様子を表した図である。

【図７】図７は振幅差ΔＨを横軸にとり、位相差Δφを縦軸にとったグラフを示す。

【図８】図８（Ａ）、（Ｂ）は光学式の距離センサーと、距離センサー駆動・検出装置の回路構成例とその動作を示す図である。

【図９】図９（Ａ）、（Ｂ）は、磁気センサーの検出コイルの出力信号と、距離センサーの距離測定結果とを、時間経過またはエンコーダの位置検出値に応じてプロットした結果を示す図である。

【図１０】図１０は、横軸に示した、距離センサーで測定し、エンコーダの位置検出値を参照して位置合わせを行ったビード部のリフトオフ量の変動値ＣＶ２ａと、縦軸に示した、磁気センサーの検出コイルで検出した、位相差と振幅差のベクトル和について位置補正した出力信号ＣＶ１ａとの相関関係を示すグラフである。

【図１１】図１１は、図９（Ｂ）に示した、位相差と振幅差のベクトル和について位置補正した出力信号ＣＶ１ａを、距離センサーで測定したリフトオフ量の変動値（距離の変動値）ＣＶ２ａを用いて、実際に補正した結果を示す図である。

【図１２】図１２（Ａ）～（Ｃ）は、曲線ＣＶＶ０として検出コイルで検出した位相差と振幅差のベクトル和出力信号の生データ、曲線ＣＶｄとして距離センサーで測定したリフトオフ量変動値を位置合わせした信号ＣＶ２ａ、曲線ＣＶＶとして位相差と振幅差のベクトル和出力信号をリフトオフ量変動値で補正した信号ＣＶ１ａを示す図である。

【図１３】図１３はCO_2レーザの種々の溶接出力と、式３から得た磁気センサーの出力の位相差と振幅差のベクトル和出力信号の１周の平均値との関係を示すグラフである。

【図１４】図１４は各溶接条件で製造した製品をカットし、実際にビード状の溶接部の溶け込み深さを測定した値と、CO_2レーザの種々の溶接出力との関係を示すグラフである。

【図１５】図１５は、磁気センサー１１の出力平均値と、ビード状の溶接部の溶け込み深さとの関係をプロットした図である。

【図１６】図１６は本発明の実施の形態の動作処理を示すフローチャートである。

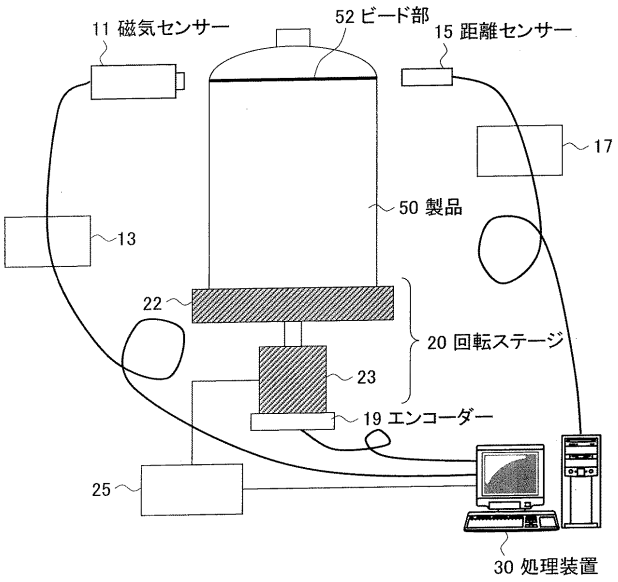
【図１７】図１７は第１実施の形態における溶接によって製品に形成されたビード部の溶け込み深さを検査する状態を示す図である。

【符号の説明】

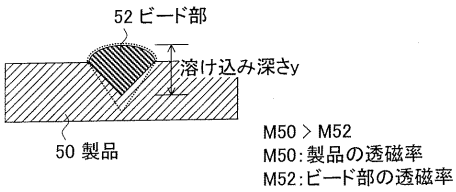
【００７５】

１…溶接部の溶け込み深さを検査する装置
　１１…磁気センサー
　　１１１…励磁コイル、１１２…検出コイル
　１３…磁気センサー駆動・検出装置
　　１３１…高周波電源、１３２…フィルタ回路、
　　１３３…位相差・振幅差検出回路
　１５…距離センサー（渦電流式距離センサーまたは光学式距離センサー）
　光学式距離センサー
　　１５１…発光素子、１５２…受光素子
　１７…距離センサ駆動・検出装置
　　光学式距離センサー
　　１７１…発光素子励起回路、１７２…受光信号検出回路、
　　１７３…時間測定・制御回路
　１９…エンコーダ
　２０…回転テーブル
　　２２…検査テーブル、２３…モータ
　３０…信号処理装置
　　３１…ＣＰＵ、３４…ハード・ディスク、
　　３５…キーボード付き表示装置
　５０、６０…溶接製品
　　５２、６２…ビード部
　　Ｘ…溶け込み深さ

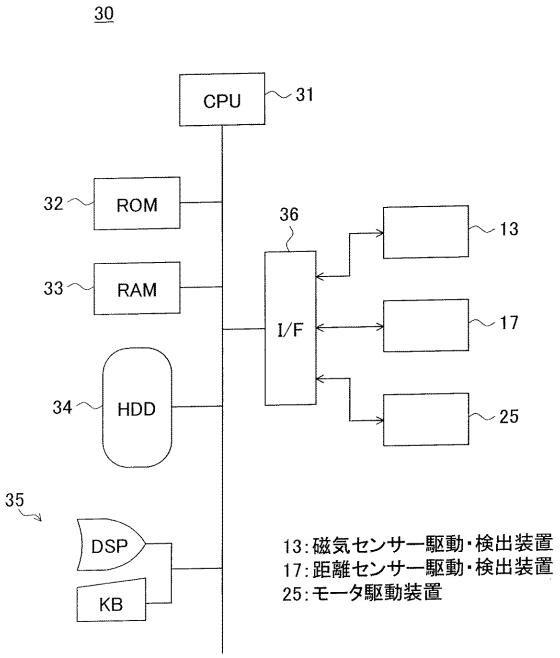
【図１】



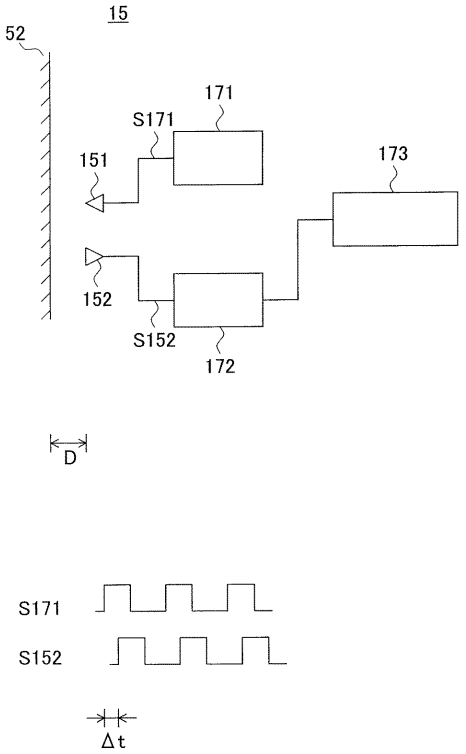
【図２】



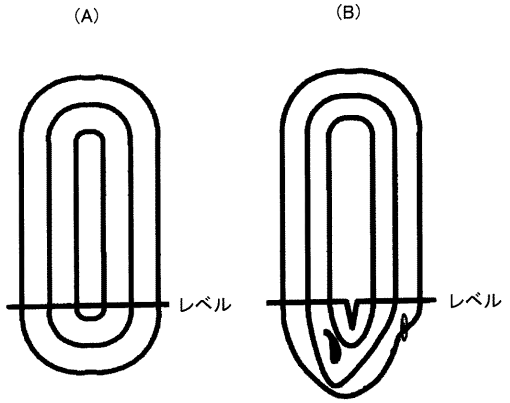
【図３】


30
CPU
31
32
ROM
33
RAM
34
HDD
35
DSP
KB
36
I/F
13
17
25
13:磁気センサー駆動・検出装置
17:距離センサー駆動・検出装置
25:モータ駆動装置

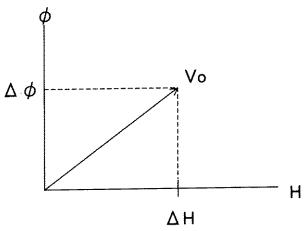
【図４】


15
52
171
S171
151
173
152
S152
172
D
S171
S152
Δt

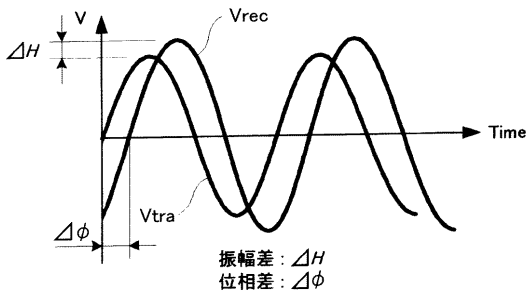
【図５】


(A)
(B)
レベル
レベル

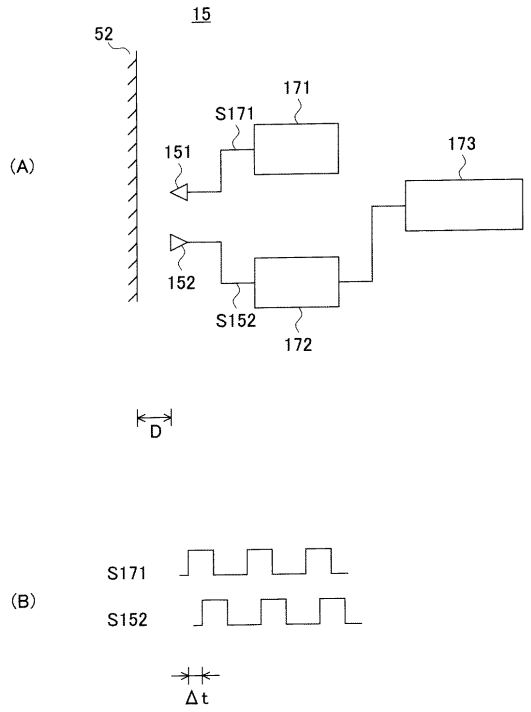
【図７】


ϕ
Δϕ
Vo
H
ΔH

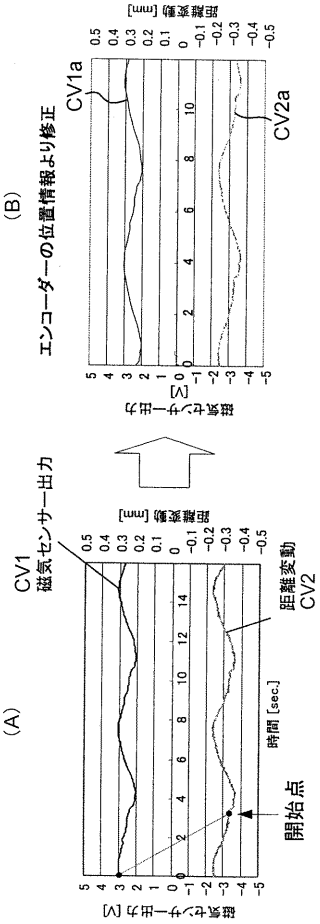
【図６】


V
ΔH
Vrec
Time
Vtra
Δϕ
振幅差：ΔH
位相差：Δϕ

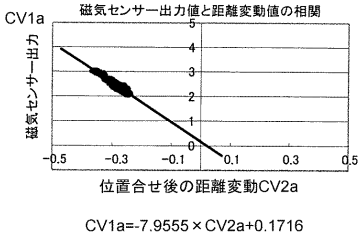
【図８】



【図９】

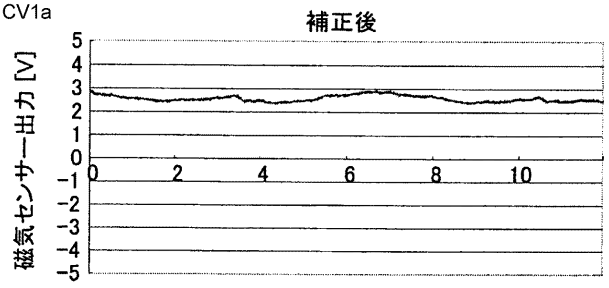


【図１０】

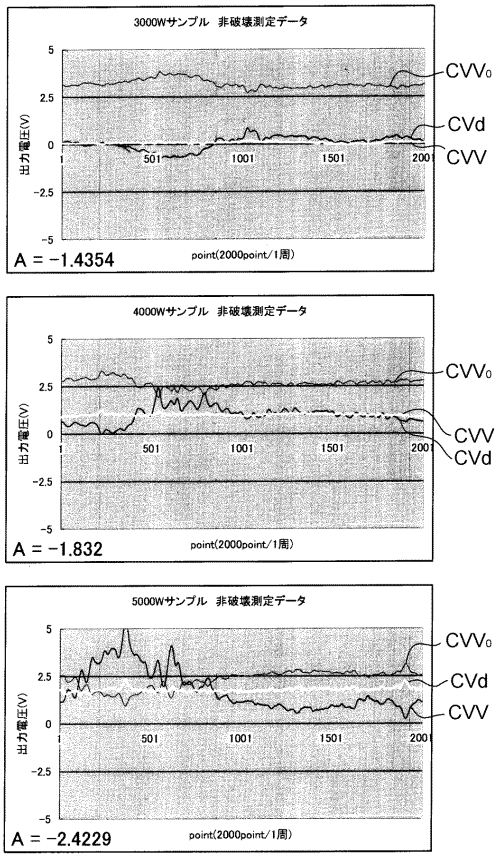


CV1a=-7.9555×CV2a+0.1716

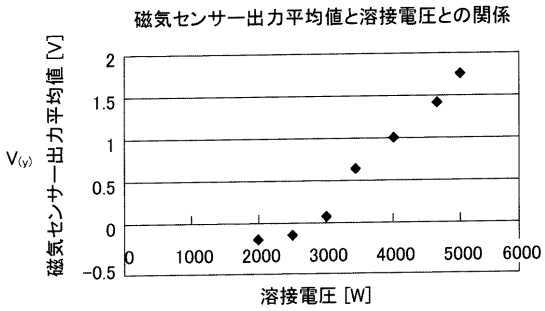
【図１１】



【図１２】



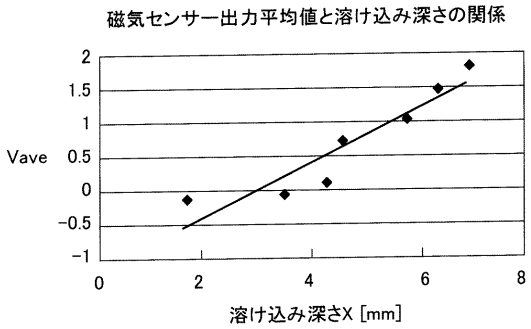
【図１３】



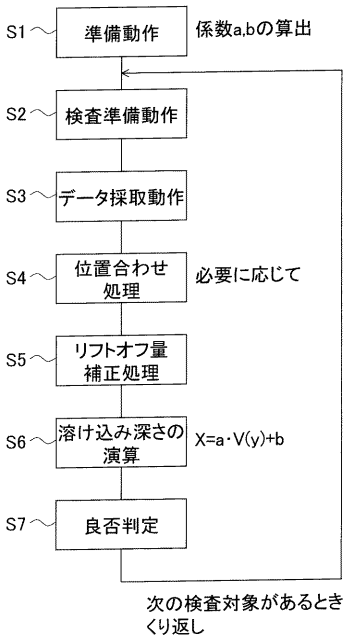
【図１４】

溶接出力	溶け込み深さ(mm)
2000W	1.7
2500W	3.5
3000W	4.3
3500W	4.6
4000W	5.8
4500W	6.4
5000W	7.0

【図１５】



【図１６】



【図１７】

