(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6073389号
(P6073389)

(45)発行日　平成29年2月1日(2017.2.1)　(24)登録日　平成29年1月13日(2017.1.13)

(51)Int.Cl.		F I		
G01N 29/06	(2006.01)	G01N	29/06	
G01B 17/06	(2006.01)	G01B	17/06	
G01B 21/20	(2006.01)	G01B	21/20	C
G01N 29/28	(2006.01)	G01N	29/28	
G01N 29/44	(2006.01)	G01N	29/44	

請求項の数 4　(全 12 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2015-20696(P2015-20696)
(22)出願日　平成27年2月4日(2015.2.4)
(62)分割の表示　特願2014-2015(P2014-2015)の分割
原出願日　平成19年11月20日(2007.11.20)
(65)公開番号　特開2015-145872(P2015-145872A)
(43)公開日　平成27年8月13日(2015.8.13)
審査請求日　平成27年2月27日(2015.2.27)
(31)優先権主張番号　11/564346
(32)優先日　平成18年11月29日(2006.11.29)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　598140870
ビーダブリューエクス・テクノロジーズ・インコーポレイテッド
アメリカ合衆国２４５０４バージニア州リンチバーグ、マウント・アソス・ロード２０１６
(74)代理人　110000523
アクシス国際特許業務法人
(72)発明者　ダニエル・ティー・マクラクラン
アメリカ合衆国バージニア州リンチバーグ、リトル・クリーク・ロード５１７
(72)発明者　ブラッドリー・イー・コックス
アメリカ合衆国バージニア州フォレスト、ブライアー・リッジ・プレイス１１２１

最終頁に続く

(54)【発明の名称】任意の表面輪郭を有する部材の超音波浸漬検査

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
不均一表面を有する部品を超音波で検査する方法であって：
ａ．部品を液体に浸すことにより、超音波トランスデューサーを含むプローブと、部品との間に少なくとも数超音波波長分の厚さの流体カップリングを与えるとともに、前記超音波トランスデューサーと前記部品との間に、前記超音波トランスデューサーと前記部品とが接触することなく前記部品上に不均一表面を許容する空間を与えることであって、前記超音波トランスデューサーが、小型の焦点の合っていない要素の配列を備え、各要素が実質的な超音波ビームの広がりを作り出すこと；
ｂ．前記部品の二次元表面形状をコード化されたプローブの位置の関数として測定することであって、
(i)部品を走査し、個々の要素を一度に一つずつ作動するステップ、
(ii)各作動に対し、同時に、配列の各要素で受信した、前記表面及び内部反射物の両方からの反射超音波波長を記録するステップ、及び、
(iii)収集された超音波波形データの配列を処理し、各プローブの位置での角度で超音波ビームを掃引し、既知の角度及びプローブの位置を使用して前記部品の表面形状を測定するステップを含むこと；
ｃ．超音波ビーム歪みを排除するために、前記測定された表面形状に基づいて、コード化されたプローブの位置の関数として信号処理パラメーターを算出すること；及び
ｄ．前記新たに算出された信号処理パラメーターを用いて各個の超音波トランスデュー

サーの要素からの収集したデータ配列を処理することにより、前記部品の表面の不規則性に対する補正を行うこと、
を含む検査方法。
【請求項２】
前記部品の二次元表面形状が超音波技術を使用して決定される、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
ａ．前記検査を実施するために横方向に分離された第１及び第２の多要素配列超音波プローブが使用され；
ｂ．超音波パルスをカップリング液体及び部品の内部に伝播させるため、及び部品の表面形状のマッピングのために部品の表面からの超音波反射を受信するために前記第１超音波プローブが使用され；そして、
ｃ．部品の内部からの超音波反射を受信するために前記第２超音波プローブが使用される、請求項１に記載の方法。
【請求項４】
合成開口焦点法が収集されたデータ配列の処理工程で使用される、請求項１に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は部品の検査、特に、部品の超音波検査に関する。
【背景技術】
【０００２】
産業上及び政府が関与する作業において複雑な表面を有する部材が多く利用されている。これらの表面の正確な形状は検査を実行する前まで知られていないことが多い。例えば、商業上の核反応産業には、複雑な曲線を有する部材及び溶接が多く存在する。外面からパイプ溶接の超音波（ＵＴ）試験を実施するための、現在利用可能な適格な方法及び処置は本質的に平らで平滑な幾何構成部分からのみ適用することが可能である。これらの処置に対処することによって得られた実施経験は、これらの溶接の多くの部分が平らまたは平滑でないことを示している。ＵＴの検査官が出くわす典型的な実施条件は多様な種類の溶接冠部及び対立的溶接収縮等の多様な他の表面不規則性を含む。
【０００３】
商業上の部品の位相配列超音波試験の使用は最近の２０年間の間に広まりつつある。位相配列超音波試験は超音波試験の１つの形式であり、それのトランスデューサーは各々が個々のパルサー及びレシーバーのチャンネルを有する小型の要素の配列から構成されている。各要素はビームの広い広がりを確実にするために十分に小さい。送信時、各要素は、各要素からの超音波が部品体積の焦点に同時に到着するように正確に決まられた時間にパルスされる。各要素からの信号は、受信時に部品体積の焦点から反射された信号が全て同相になるように正確な時間だけ遅延される。そして、遅延して受信した信号は合計され、反射が焦点から発するときに最大の振幅を有する信号を生成する。送信及び反射に対するこれらの時間の遅延は電子的に適用されるので、それらは容易に変更することができる。この構成は位相配列ビームの特性のプログラム及び変更を１秒当り２０,０００回程度のレートで迅速に行うことを可能にする。これらの技術を使用することにより、超音波ビームの焦点を電子的に角度方向に掃引すること、奥行き方向に掃引すること、プローブに平行な線方向に掃引すること、または他の所望のパターンで掃引することが可能になる。この融通性により産業上の試験における位相配列超音波の使用は広まりつつある。
【０００４】
曲線、波状、または不規則な表面を有する部品は長年の間、超音波試験にとって困難なものとなっている。表面が規則的な幾何構造（例えば、円筒形）を有する場合、超音波プローブはその部品の検査を可能にするために設計及び製造することができる。位相配列超

音波を使用することにより、送信及び受信で使用される遅延時間を調節することにより、（多くの場合）既知の表面形状に対する補正を行うことが可能である。商業上入手可能なフォーカルロー計算機は位相配列超音波ビームを単純な規則的表面形状に対して設計することを可能にする。しかしながら、検査の前に表面の輪郭が表面に沿って未知な様式で変化している場合、超音波検査を実施するために有効な方法は存在しない。例えば、パイプが溶接され、その後に溶接が平滑な仕上がりを有するが平らでない状態に削られた場合等がこの状態に当てはまる。多くの場合、超音波を部品の中側及び外側に伝播させるためにトランスデューサーと部品の間にウォーターパスを使用し、自動的な走査の実行及び信頼性のあるカップリングの達成を容易にすることを試みている。

【０００５】

図１及び２は表面の不規則性が超音波パルスに与える影響を概略的に図示している。図１は平らな表面上の超音波ビームによって所望の領域に容易に焦点を合わせることができることを示している。図２は超音波ビームが曲面によってどのように分散されるかを示している。図から明らかなように、超音波検査の忠実度を維持するためには、表面の輪郭の変化に対処する必要がある。

【０００６】

特許文献１はトランスデューサーと部品表面の間のウォーターカップリングとともにスレッド配置された複数の超音波プローブを使用するための方法を開示している。この配置は不均一な表面による反射物の位置の誤差を補正することによって部品の検査を補正するために表面の形状を精密に調べるための能力を与える。しかしながら、超音波ビームの幅にわたる不均一な表面形状による超音波ビームの収差を補正する能力を組み込んでいない。すなわち、それの応用範囲はビームが表面から入るときのビームの幅にわたって平らであると記述できる表面に制限される。図２に示されているように、通常の超音波ビームにおいては３．８ｃｍ（１．５インチ）の半径の曲面であっても複数のビームの歪みを生ずるので、この制限は非常に厳しい制限であると言える。

【０００７】

超音波検査を実施するために複雑な形状の部品の表面に対応することができるフレキシブル（または、柔軟）な位相配列プローブが開発されている。これは非特許文献１に記載されている。この実験的な研究において、個々の要素に取り付けられた変位測定デバイスを有するフレキシブル圧電プローブが開発された。個々の要素は不均一な表面形状に一致するために下方に押し付けられる。個々の要素の各々の垂直位置を変異センサーによって測定することによって、不規則表面が生成するビームの歪みを補正及び排除する位相配列遅延を計算することができる。しかしながら、超音波を確実に部品に結合するためにプローブ要素と部品表面の間の十分な接触を維持することは非常に困難である。要素と部品の間の良好な超音波結合を確実にするために、カップリング液体またはジェルで充填された隙間を数千分の一インチ未満にすることが必要である。実際の多くの表面条件下において、これは不可能である。

【０００８】

非特許文献２はモノリシック（単一要素）超音波トランスデューサーを開示している。超音波ビームの特性は設定され、変更することができない。プローブの１つは表面形状を測定するためにウォーターパスとともに操作され、それとは異なる内部検査のためのプローブは部品の表面と接触状態に置かれる。この参照例に記載されている超音波プローブはフレキシブル（または、柔軟）ではないので、それらは平らな表面上のみでしか操作することができない。プローブを適切に動作させるためにプローブと部品表面の間の薄い液体接触媒質を数千分の一未満に保つとともに、プローブの平らな表面はプローブの全領域にわたって部品の平らな表面と接触状態に置かれなければならない。それゆえ、この装置は平らな表面部分からなる部品上のみでしか操作することができない。内部検査プローブは１つの平らな領域から次の平らな領域への遷移的な領域にわたって動作することができない。この手法はプローブの領域にわたって本質的に平らとなるような大きな半径を有する曲面状の表面にしか対処することができない。典型的なトランスデューサーの場合、曲面

の半径はこの手法を使用するために数フィート以上でなければならない。この手法によって与えられる補正は表面形状の変化に対する超音波データからの内部反射の位置の補正に制限される。各プローブから反射物までのビーム角度及び距離は既知であるので、表面及び表面形状上のプローブの正確な位置を調べることにより、この記事の手法によって大域座標系に対する反射物の位置を計算することができる。しかしながら、この手法は存在する不均一表面部品の比較的小さい部分集合に対してのみ応用可能である。この手法はプローブの領域にわたって平らでない表面によって生ずるビームの歪みの問題に全く対処することができない。すなわち、この手法はプローブの領域にわたって平らな表面の区分に対してのみ応用可能である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００９】

【特許文献１】米国特許出願公開第２００５／０１５０３００号明細書

【非特許文献】

【００１０】

【非特許文献１】「A Flexible Phased Array Transducer for Contact Examination Of Components with Complex Geometry」（第１６回非破壊試験世界会議）

【非特許文献２】C.Holmes、B.Drinkwater、及びP.Wilcox著「Insight」（Vol.46, No.11, 677-680頁, 2004年）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１１】

本発明は周知の技術の欠点に対処するものであり、超音波で波状または不均一表面を有する部品を検査するための方法を与える。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

複合要素配列超音波トランスデューサーは配列トランスデューサーと部品表面との間で少なくとも超音波の数波長分の厚さを有する水等の、実質的に流体の層とともに動作する。この流体層は部品を液体に浸す、またはプローブと部品表面の間に係留性の接触媒質を使用することによって維持されてもよい。部品は走査され、機械的な針（スタイラス）、レーザー、または超音波技術を使用して二次元の表面形状が測定される。部品の表面の正確な表面形状が測定されると、部品の内部から反射される超音波信号を処理するためのデータ処理パラメーターが計算される。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】平らな表面を介して部品の内部に向けられた超音波パルスの効果を概略的に図示している。

【図２】不均一な表面を介して部品の内部に向けられた超音波パルスの効果を概略的に図示している。

【図３】２つの異なった材質の境界における超音波ビームの屈折及び反射を概略的に図示している。

【図４】複合要素配列プローブに対する光線追跡の例である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

本発明を特徴付ける多様な新規な特徴は、特に本願の一部をなす付随する請求の範囲にも示されている。本発明及び本発明によってもたらされる動作上の長所のさらなる理解のために、付随する図面への参照とともに説明として示されている本発明の好まれる実施例を以下に説明する。

付随する図面において、類似する部材には同一または同様な番号が付けられている。

【００１５】

本発明の検査方法は少なくとも３つの異なった様式で達成することができるが、各方法には共通の部分が存在する。

第１の共通部分は、それらが複合要素配列超音波プローブの使用に適していることである。

【００１６】

もう１つの共通部分は、プローブが実質的な流体パス（または、流体経路）によって検査される部品から分離されていることである。流体は水またはジェルであってもよいが、取り扱いの容易性により好まれる流体は水である。現在の超音波トランスデューサー検査は通常、以下の様式によって実施される：トランスデューサーが数千分の一インチ未満の厚さの流体またはジェルによって検査される部品に結合される。すなわち、トランスデューサーは部品に本質的にほとんど接触しそうになっている。したがって、本発明はその目的として、実質的な流体パスをトランスデューサーと部品の間で少なくとも数超音波波長程度とするように意図しており、それによりトランスデューサーと部品の間にはトランスデューサーと部品を接触状態に置くことなく部品上で不均一表面の比較的小さい半径の曲面を許容する空間を存在させる。このウォーターパスの長さ（または、深さ）は通常３ｍｍ～２５ｍｍである。

【００１７】

もう１つの共通部分は、部品の二次元表面形状を取得するために部品が走査されることである。しかしながら、後で説明されるように使用される走査手段は特定のものに限定されない。

【００１８】

もう１つの共通部分は、部品の測定された表面形状に基づいて、（補正がされない場合に）反射された超音波パルスから生じる超音波ビームの歪みに対する補正をする信号処理パラメーターが超音波プローブの位置の関数として計算されることである。

【００１９】

好まれる実施例において、検査される部品は、複合要素配列超音波プローブの個々のＵＴプローブを一度に一つずつ作動し、配列の要素の各々から受信した、反射された超音波波形を記録することによって走査される。そしてそれによって各プローブの位置での送信要素と受信要素の全ての固有な組み合わせに対する完全なデータセットが記録される。収集された超音波波形データの配列は部品の表面形状を測定するために処理される。この測定された表面形状に基づいて、不均一表面に対する補正を行い、（補正がされない場合に）部品の内部の反射物から反射された信号に起こるビームの歪みの影響を排除する信号処理パラメーターをプローブの位置の関数として計算する。収集されたデータの配列は処理され、部品の内部から反射された信号に基づいて部品の内部を分析（検査）するために、先行するステップで計算された、符号化されたプローブ位置の関数としての信号処理パラメーターを変更する。

【００２０】

好まれる実施例において、容積測定点焦点合わせのために必要な二次元開口を形成し、それによって感度を増大し、解像度を改善するために周知の合成開口焦点技術（ＳＡＦＴ：Synthetic Aperture Focusing Technique）が使用されてもよい。個々の要素からの全ての波形が保存されるので、ＳＡＦＴ技術はマトリクス作動／焦点合わせ機構に対して容易に適用することができる。そして、その後はＳＡＦＴの長所を活かすために単一の焦点に焦点を合わせるために複数のプローブ位置からの波形を使用するだけでよい。

【００２１】

もう１つの実施例において、検査される部品は機械的な針（スタイラス）、レーザーに基づく技術、超音波技術、または同様な技術のいずれかを使用して、符号化されたプローブ位置の関数として二次元表面形状を測定するために走査される。測定された表面形状に基づいて、プローブ位置の関数として信号パラメーターが計算される。これらの信号処理パラメーターは（補正がされない場合に）反射された信号に起こるビームの歪みの影響を排除するために不均一表面に対して補正を行うために使用される。そして、計算された信

号処理パラメーターは二次元超音波配列トランスデューサーに接続されている、商業上利用可能な位相配列計器にダウンロードされる。次に、部品は部品の内部を検査するために位相配列計器にダウンロードされた信号処理パラメーターを使用して複合要素配列超音波プローブによって走査される。この操作は超音波配列プローブ位置に基づいて信号処理パラメーターを電子的に選択し、部品の内部の反射物から反射されたパルスを受信、処理、及び記録するために選択された信号処理パラメーターを使用することによって達成される。

【００２２】

もう１つの実施例において、検査される部品は、上述したように、表面形状を測定するために走査される。表面形状を測定するために部品が走査されるのと同時に、複合要素超音波プローブ配列は個々の配列要素を一度に一つずつ作動される。配列内の要素の各々で受信した超音波波形は記録され、各プローブの位置での送信要素と受信要素の全ての固有な組み合わせに対する完全なデータセットが記録される。信号処理パラメーターは、上述したように、測定された表面形状に基づいて計算される。そして、収集された各要素の個々の作動から受信したデータの配列は、表面不規則性に対して補正を行い、（補正がされない場合に）部品の内部の反射物から反射された信号に起こるビームの歪みの影響を排除する新規に計算された信号処理パラメーターを使用して処理される。

【００２３】

各実施例において、単一の配列プローブが送信機及び受信機の両方として利用されてもよいし、または複合要素配列プローブが使用され、一方のプローブが送信機として利用され、第２のプローブが受信機として利用されてもよい。別個の送信機及び受信機としての複式プローブの使用は、システムを部品の内部からの近表面反射に対して一時的に「目隠し」する流体と部品の表面の間の境界からの反射の振幅を減少させる。複式プローブを使用した信号処理パラメーターの操作及び計算は、２つのプローブの相対的な位置が考慮されることを除いて、単一の結合送信機／受信機プローブを使用した場合と同じである。この場合、表面形状情報は、送信機プローブをパルス／エコーモードで動作させ（このプローブの同一の要素で送信及び受信をし）、同時に、別個の受信プローブで部品の内部の反射物から反射された超音波を受信することによって得ることができる。この２つのプローブは横方向に分離される。送信（第１）プローブはカップリング液体及び部品の内部に超音波パルスを送信し、部品の表面形状をマッピングするために部品の表面からの超音波反射を受信する。受信（第２）プローブは部品の内部からの超音波反射を受信する。

【００２４】

本発明のデータの取得及び処理方法を使用することにより、目的の領域の各点に焦点を合わせた超音波ビームを有するのと等価な画像を生成するためにデータを処理することが可能になる。また、部品の異なった領域に対して異なった数の要素からのデータを処理し、開口を効果的に変更することが可能になる。例えば、焦点の幅は以下の式によって与えられるので、有効な開口は一定の焦点の幅を維持するために焦点距離を増大させることによって増大することができる。

焦点幅～＝（焦点距離）（超音波波長）／（有効プローブ幅）

【００２５】

以下に、本発明の方法を達成するための手段を説明する。

部品の表面形状は領域プローブ超音波を使用することによって正確に測定することができる。この操作はビームを角度方向に掃引しながら部品を走査し、超音波表面反射データを収集し、そして部品の表面の正確な形状を生成するためにデータを取得したときの既知のビーム角度及びプローブの位置を使用して収集されたデータを結合することによって達成される。表面上の点からの最大の反射は、超音波ビームが表面に対して垂直になったときに取得される。各ビーム角度及びプローブの位置に対してデータを結合するときに、表面上の任意の点からの最大の振幅を有する反射はプローブから表面上のその点までの距離を測定するために使用される。最大の反射に対するプローブの正確な位置及びビームの正確な角度を調べることにより、表面上の点の位置を決定することができる。表面を画定す

る点の格子に対してこの測定を実施することによって表面全体の輪郭を決定することができる。同様な表面輪郭作成能力を与えるために、上述した位相配列処理に等価な信号処理をマトリクス作動収集データに対して実施することができる。

【００２６】

表面全体の輪郭を作成するために、超音波ビームによって掃引しながら、部品が走査される。適切なゲート処理がなされたとき、結果として得られる信号は各プローブ位置における各ビーム角度に対するピーク信号の振幅及び到着の時間に対する情報を与える。プローブに対する反射源の空間的な位置は以下の式によってこの情報から計算することができる。

【００２７】

【数１】

$$x = \frac{ToF \cdot v_s}{2} \sin\theta$$

$$y = \frac{ToF \cdot v_s}{2} \cos\theta$$

【００２８】

ここでＴｏＦは反射に対する飛行時間であり、V_Sは液体中の音の速度であり、そしてθは焦点の合わされたビームの角度である。これらの相対的な位置の値は、反射物の実際のｘ，ｙ位置を与えるために、反射が記録されるときに既知のプローブ位置に加えられ、配列に格納される。部品の形状は各ｘ位置に対する最大の振幅を有する反射のｙ位置を見出すために配列をｘ位置の関数として処理することによって見出される。この処理を部品の長さに沿って増大するように取得される複数の走査線とともに繰り返すことによって、部品に対する表面形状の全体を生成することができる。

【００２９】

部品の内部からのデータを処理するために使用される時間遅延の値を正確に計算するために、トランスデューサー要素から部品の目的の点まで伝わる超音波によって利用されるパス（または、経路）が決定されなければならない。超音波源要素から部品の表面の液体／固体境界を通って伝播する超音波は境界で屈折する。図３はこの屈折を図示している。入射超音波は角度θ_1で表面に衝突する。この波は境界で屈折され、スネルの法則によって与えられる角度θ_2で部品内を伝わる。

【００３０】

【数２】

$$\theta_2 = \sin^{-1}(V_2 \sin(\theta_1)/ V_1)$$

θ_1＝第１材料（液体）への入射角度

θ_2＝第２材料（固体部材）での屈折された角度

V_1＝第１材料（液体）での音速

V_2＝第２材料（固体部材）での音速

【００３１】

V_2はせん断波の速度、または結果的にせん断波ビームまたは屈折された縦波ビームと

なる固体の縦方向の速度である。不均一表面を有する部品を検査のために使用される時間遅延の計算はスネルの法則を満たす点で不均一表面を通過する超音波源要素と所望の焦点の間の屈折する経路を見付け出すことを必要とする。通常、この操作は数値的な根の発見によって行われる。パスが個々の要素の中央から不均一表面の点を通ってスネルの法則を満たす所望の焦点まで見付け出されるとき、誤差関数はゼロとなるように定義することができる。この誤差関数は以下の式によって与えられる。

【００３２】

【数３】

$$E(x) = X_{focus} - Y_{focus} \tan\left(\sin^{-1}(V_2 \sin(\theta_1)/V_1)\right)$$

【００３３】

X_{focus}は、入射光線が表面と交差する場所から所望の焦点Ｘまでの水平方向の距離であり、Y_{focus}は入射光線が表面と交差する場所から所望の焦点までの下方への深さであり、θ_1は表面の垂線に対する入射角度であり、V_1はカップリング液体の超音波の速度であり、そして、V_2は固体部品の超音波の速度である。誤差関数は部品の表面に沿ってｘの関数として評価される。ある程度の予め決められた許容範囲内でＥ(ｘ)がゼロに等しくなるようなｘに対する値が見つかった場合、スネルの法則を満たす音声パスに対する解が見つけだされ、ビームはこのｘ値の位置で表面を通過する。スネルの法則を満たす、解を見つけるための他の方法を使用することもできる。超音波パスの解が見つかると、単純な計算によって信号がこのパスを伝わるための飛行時間が与えられ、その値から信号処理遅延を計算することができる。

【００３４】

【数４】

$$\text{ToF} = (\text{液体中のパスの長さ})/V_{liquid} + (\text{固体中のパスの長さ})/V_{solid}$$

【００３５】

図４には、複雑な幾何学表面を介した複合要素（３２）の領域プローブ操作に対する光線追跡の例が示されている。境界の上の材質は水であり、境界の下の材料は鋼鉄である。

【００３６】

２Ｄ（二次元）配列プローブが使用されるとき、この手法は三次元に拡張することができる。２Ｄ配列プローブは通常、長方形に配置された要素の二次元配列を含む。これらのプローブを使用する場合、不均一表面を介した焦点合わせは三次元の全ての次元ｘ，ｙ，ｚにおける超音波パスに対する解法を伴う。

【００３７】

本発明は複数の長所を与える。

本発明の主要な長所の１つは、部品とプローブの間のウォーターパスを使用することによって、単純な配列のプローブを使用することができ、検査を実施するために比較的容易に部品の表面を走査することができることである。ウォーターパスは検査を実施するために部品を液体のタンクに浸すことによって与えることができる。ウォーターパスはまた、部品の表面に対する柔軟な封止とともにプローブの周りに小さな容器を使用し、プローブの表面と部品の表面の間の領域を充填するために容器に液体を注入することによって確立することができる。カップリング液体の使用は一般に、信頼性のあるカップリングを与え、自動的な走査に対して便利である。ウォーターパスはまた、上述したように、部品の表面形状の測定に対する便利な手段を与える。

【００３８】

本発明のもう１つの長所は、検査に対する超音波ビームの歪みの排除、及び部品の内部の反射物の正確な位置の検出を可能にする。先に図示したように、平らな表面からの比較的小さい歪みであっても、それは表面を通過する超音波ビームの深刻な歪みを引き起こす

可能性がある。本発明のこの手法は表面の段を含む、多様な範囲の不均一表面の条件に対して強力である。この長所により、本発明のこの技術は広範囲の不均一表面の検査の困難性に対処することができる。

【００３９】

送信及び受信要素の全ての固有な組み合わせからの超音波波形がデジタル化され、その後の処理のために保存される、マトリクス作動及びマトリクス焦点合わせを利用するこの技術の実施に対し、部品の表面にわたる１回のラスター走査から取得された同一のデータまたは同時的に取得された別個のデータを交互に使用することによって表面形状を決定し、部品の内部の検査を実施することが可能である。この技術は部品の表面形状データと部品の内部検査データを別個に取得するために走査を２回実施する必要性を排除することができるので便利である。また、不均一表面に対する超音波ビームの正確な補正を可能にするために表面形状は非常に正確に測定されなければならない。同一のデータまたは同時的に取得されたデータの使用は、２つの測定がプローブの完全に同一の位置で取得されたことを確実にする。この手法により、表面形状の正確な測定が数千分の一インチ以下になることが可能にする。この手法は、不均一表面による歪みを排除し、部品の内部の反射物の非常に正確な位置を与えることを可能にする。

【００４０】

本発明は、商業上利用可能な位相配列計器において不可能であった進歩した信号処理技術の利用を可能にする。特に、本発明は検査領域の全ての点に焦点が合わされた画像を生成し、向上した画像の解像度を与えるためにデータを処理することを可能にする。また、一定の焦点幅を与え、それによって検査領域全体に一定の解像度を与えるために検査プローブの有効開口（幅）を変更することを可能にする。また、「生」データが保存されるので、反射物をより正確に特徴付けるために多様な異なった焦点のパラメーターとともにデータを何回でも処理しなおすことができる。この改善した特性付けは特に、深刻な欠陥を有すると判明した部品の修理または交換のコストが非常に高い場合に便利である。

【００４１】

もう１つの長所はデータを取得するために非常に単純なハードウェアを使用することが可能であることである。例えば、本発明の現時点での最良の実施例は単純なパルス回路の配列、及び受信した波形をデジタル化し、それらを処理のためにコンピューターに転送するために並列動作する高速デジタイザーに接続された単純な受信回路を使用する。このハードウェアを動作させるために定義することが必要なパラメーターの数は非常に少ない。一方、商業上入手可能な位相配列ハードウェアは上述のパルサー／レシーバー及びデジタイザーに加え、送信パルス及び受信した信号の両方に対する、プログラム可能な高速スイッチ式電子遅延を与えるための装置を含む。それらはまた、受信チャンネルの各々からの遅延信号を加算するための回路を含んでいる。これらの全ての装置または回路は動作のために多くのパラメーターをプログラムする必要がある。

【００４２】

もう１つの長所は、プローブの固定した位置からデータを取得するために使用される能動要素から与えられる検査を増強させるために合成開口焦点技術（ＳＡＦＴ：Synthetic Aperture Focusing Technique）を利用することができることである。ＳＡＦＴを利用することにより、プローブの複数の位置において、個々の要素から収集された波形のデータは、データに適切な遅延が適用された後に合計される。これはＳＡＦＴのデータがプローブ複数の既知の位置から来ることを除いて、マトリクス焦点合わせに対して使用される処理と本質的に同じ処理である。マトリクス焦点合わせを利用することにより、送信及び受信要素の全ての固有な組み合わせから取得されたデータはこの処理方法で使用され、結果としての波形に関する限りは、商業上利用可能な位相配列計器で実施される処理と等価であることを示すことができる。ＳＡＦＴを利用することにより、データは比較的大きな配列にわたって収集され、プローブの単一の位置で収集されたデータに対するものよりも向上した解像度及び感度を与える比較的大きな有効開口の結果となる。しかしながら、データはプローブの物理的な要素に対してのみ収集されるので、ＳＡＦＴによって処理された

データは比較的大きな領域の能動プローブを有することと完全に同一ではない。ＳＡＦＴは検査の解像度及び感度の向上に対して非常に効果的に使用することができる。

【００４３】

２Ｄの変化に富む表面で動作する場合、要素として十分に小型である要素を、良好なビーム特性を与えるために十分な数だけ備えた全２Ｄ配列プローブの使用は困難となる場合がある。多数の２Ｄ要素を備えたトランスデューサーは構築が難しく、高価であり、また、要素が小さくなりすぎると感度が悪くなる。多数の要素を作動させ、それらからのデータを収集及び処理するために必要な時間はマトリクス作動手法の実施を困難にする可能性がある。多数（＞３２）の要素を支持するためのハードウェアは容易に入手することができない。２Ｄプローブの多数の要素の使用を避けるための１つの方法は必要な波形のデータセットの二次元配列の１つの次元を与えるために合成開口焦点技術（ＳＡＦＴ）を使用することである。ＳＡＦＴを利用することにより、個々の要素に対して良好な横方向のビームの広がりを与えるために狭い横方向の幅を有する１Ｄ（一次元）配列プローブを作製することができる。１Ｄ配列プローブにより部品の表面にわたってラスター走査が行われ、上述したようにマトリクス焦点合わせに対するデータが収集される。そして、このデータはマトリクス焦点合わせとＳＡＦＴの組み合わせを使用して処理される。これは非常に単純明快なハードウェアの実施という実用的な長所を与える。いくつかの場合において、これは全２Ｄ配列と同程度の感度を与えないことが示されるかもしれないが、この手法は二次元において変化に富む表面を有する部品の検査に対して非常に実用的な手法となる可能性がある。ＳＡＦＴは一方方向または両方向のどちらの場合であっても収集されたデータの処理を増強するために使用することができる。

【００４４】

ここまで本発明の原理の適用を説明するために本発明の特定の実施例及び本発明の詳細部分を説明したが、本発明がそれの原理から外れることなく（全ての等価物を含む）付随する請求の範囲に記載されている他の様式で当業者によって実施されてもよいことは理解されなければならない。

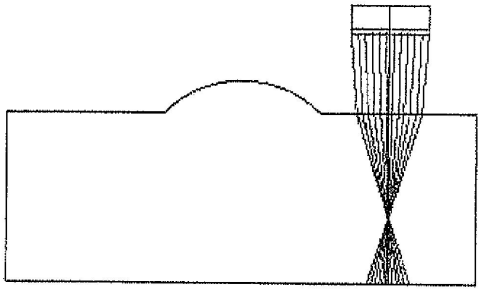
【符号の説明】

【００４５】

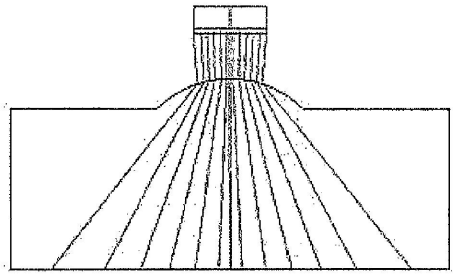
θ_1　超音波の入射角度

θ_2　屈折後の角度

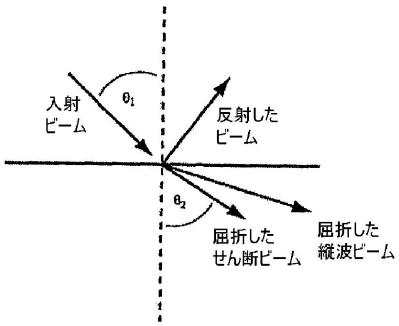
【図１】



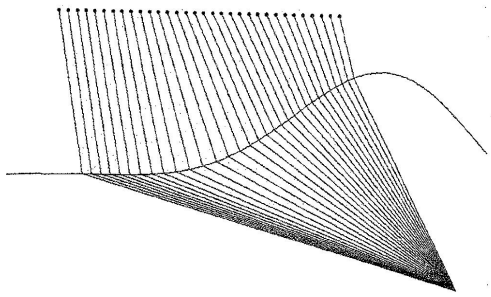
【図２】



【図３】



【図４】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ＦＩ
Ｇ０１Ｎ 29/26 (2006.01) Ｇ０１Ｎ 29/26

審査官 比嘉 翔一

(56)参考文献 特開平０１－１５６６６１（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－１３８６７２（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２５７７５９（ＪＰ，Ａ）
特開昭５９－１４８８６６（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－１６００５３（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－３００３６３（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０６２１９１（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１０２２５８（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２００５／０１５０３００（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ ２９／００－２９／５２
ＪＳＴＰｌｕｓ（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）