

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3606132号
(P3606132)

(45) 発行日 平成17年1月5日(2005.1.5)

(24) 登録日 平成16年10月15日(2004.10.15)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO 1 N 29/04

GO 1 N 29/04 5 O 2

GO 1 N 29/24

GO 1 N 29/24 5 O 2

請求項の数 3 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平11-291793 (22) 出願日 平成11年10月14日(1999.10.14) (65) 公開番号 特開2001-108661(P2001-108661A) (43) 公開日 平成13年4月20日(2001.4.20) 審査請求日 平成14年3月14日(2002.3.14)</p>	<p>(73) 特許権者 000004123 J F E エンジニアリング株式会社 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 (74) 代理人 100061273 弁理士 佐々木 宗治 (74) 代理人 100085198 弁理士 小林 久夫 (74) 代理人 100060737 弁理士 木村 三朗 (74) 代理人 100070563 弁理士 大村 昇 (72) 発明者 天野 哲也 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日 本鋼管株式会社内</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波探傷方法およびその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

斜角探傷用くさびを介して被検体探傷面より超音波を屈折入射させて被検体の探傷を行う超音波探傷方法において、
 前記斜角探傷用くさびの傾斜面に複数 n の振動素子をアレイ状に配列し、該複数 n の振動素子のうちから連続した配列の複数 m (但し n > m) の振動素子を選択し、該選択された複数 m の振動素子により一度に超音波の送受信を行う場合に、くさび傾斜方向における前記複数 m の各振動素子の幅及び間隔の総和で決まる振動素子開口幅 D が、前記くさびの傾斜面に対して垂直に超音波を入射させたときの前記被検体探傷面に対する超音波の入射角を θ 、屈折角を α 、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程を L、被検体内を伝搬する超音波の波長を λ とすると、次式 (A) を満足するように前記複数 m の振動素子を設定することを特徴とする超音波探傷方法。

【数 1】

$$D \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} \quad \dots \quad (A)$$

【請求項2】

前記設定された複数 m の各振動素子をそれぞれ励振する際に、前記複数 m の各振動素子毎

にその励振タイミングを制御し、また前記複数 m の各振動素子がそれぞれ受波した信号を合成する際に、前記複数 m の各振動素子毎の受波信号の合成タイミングを制御し、前記被検体内に形成される超音波音場を所望の形状とするように制御することを特徴とする請求項 1 記載の超音波探傷方法。

【請求項 3】

斜角探傷用くさびを介して被検体探傷面より超音波を屈折入射させて被検体の探傷を行う超音波探傷装置において、

前記斜角探傷用くさびの傾斜面に複数 n の振動素子をアレイ状に配列して構成した斜角接触子と、

前記斜角探傷用接触子のアレイ状に配列された複数 n の振動素子のうちから連続した配列の複数 m (但し $n > m$) の振動素子を選択し、該選択された複数 m の振動素子により一度に超音波の送受信を行う場合に、くさび傾斜方向における前記複数 m の各振動素子の幅及び間隔の総和で決まる振動素子開口幅 D が、前記くさびの傾斜面に対して垂直に超音波を入射させたときの前記被検体探傷面に対する超音波の入射角を θ 、屈折角を α 、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程を L 、被検体内を伝搬する超音波の波長を λ とすると、次式 (A) を満足するように前記複数 m の振動素子を設定する設定手段と、

前記設定手段により設定された複数 m の各振動素子をそれぞれ励振する際に、前記複数 m の各振動素子毎にその励振タイミングを制御し、また前記複数 m の各振動素子がそれぞれ受波した信号を合成する際に、前記複数 m の各振動素子毎の受波信号の合成タイミングを制御し、前記被検体内に形成される超音波音場を所望の形状とするように制御する音場制御手段とを備えたことを特徴とする超音波探傷装置。

【数 2】

$$D \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} \quad \dots \quad (A)$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複数の振動素子をアレイ状に配列して超音波の送受信を行い、被検体の探傷を行う超音波探傷方法及びその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

鋼材など材料や溶接部の内部に存在するきずを非破壊検査する手段として、超音波探傷法が広く用いられている。この超音波探傷法は、被検体の表面から超音波を入射し、内部のきずから反射した超音波を受信して検査を行う方法である。

【0003】

従来広く行われている超音波探傷では、垂直用、斜角用など探傷目的に応じた探触子が用いられており、一般に、市販品の探触子は、1つの振動子で構成されるものが多い。

【0004】

なお、微少な振動素子を複数配列し、それぞれの振動素子で超音波の送受信を行うアレイ型探触子を用いた超音波探傷技術がある。このアレイ型探触子を用いた超音波探傷では、例えば特開平 9 - 33500 号公報や特開平 9 - 292374 号公報などに示されるように、各アレイ素子の送受信のタイミングを制御して、被検体内の超音波ビームを所定位置(焦点位置)に収束(フォーカシング)させるものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

従来広く用いられている超音波探傷方法を用いて、厚い鋼板の探傷など超音波のビーム路

10

20

30

40

50

程が大きくなる場合や、超音波の減衰が大きな材料の超音波探傷を行う場合、超音波ビームの広がりや超音波の材料中での減衰により、きずから反射する超音波が微弱となり、良好なSN比で探傷ができないという問題が生じている。

【0006】

そのため、振動子面積の大きな超音波探触子を使用して探傷が行われているが、従来タイプのように1つの振動子で送受信を行う場合、印加電圧等の関係で駆動可能な振動子の大きさに限界があった。また1つの振動子の場合、被検体中の音場は振動子の大きさ(振動子面積)に直接に支配され、音場の制御は不可能である。

【0007】

一方、アレイ型探触子を用いる場合には、前述の特開平9-33500号公報や特開平9-292374号公報などに代表されるように、各アレイ素子の送受信のタイミングを制御して超音波ビームを収束させる発明においては、超音波ビームの焦点位置もしくはこの近傍位置において検出精度の向上のみを目指したものであった。

【0008】

前記超音波のビーム路程が大きくなる場合や被検体内での超音波の減衰が大きくなる場合の超音波探傷法としては、一般に振動子面積や振動子開口幅を大きくする方が良いとされているが、所要探傷範囲をカバーするために必要なビーム路程に対して、どの程度に大きくしたらよいか不明のため、従来は試行錯誤を繰り返していた。

【0009】

従って所望のビーム路程で超音波探傷を行うために必要とする振動子面積や振動子開口幅の合理的な基準が求められていた。

【0010】

また上記振動子面積や振動子開口幅が大きくなった場合においても、被検体内のきずを精度良く検出できるように、被検体内における超音波ビームの広がりを制御可能とすることも要望されていた。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明の請求項1に係る超音波探傷方法は、斜角探傷用くさびを介して被検体探傷面より超音波を屈折入射させて被検体の探傷を行う超音波探傷方法において、前記斜角探傷用くさびの傾斜面に複数 n の振動素子をアレイ状に配列し、該複数 n の振動素子のうちから連続した配列の複数 m (但し $n > m$)の振動素子を選択し、該選択された複数 m の振動素子により一度に超音波の送受信を行う場合に、くさび傾斜方向における前記複数 m の各振動素子の幅及び間隔の総和で決まる振動素子開口幅 D が、くさびの傾斜面に対して垂直に超音波を入射させたときの前記被検体探傷面に対する超音波の入射角を、屈折角を、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程を L 、被検体内を伝搬する超音波の波長を とすると、次式(A)を満足するように前記複数 m の振動素子を設定するものである。

【0012】

【数3】

$$D \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} \quad \dots \quad (A)$$

【0013】

本発明の請求項2に係る超音波探傷方法は、前記請求項1に係る超音波探傷方法において、前記設定された複数 m の各振動素子をそれぞれ励振する際に、前記複数 m の各振動素子毎にその励振タイミングを制御し、また前記複数 m の各振動素子がそれぞれ受波した信号を合成する際に、前記複数 m の各振動素子毎の受波信号の合成タイミングを制御し、前記被検体内に形成される超音波音場を所望の形状とするように制御するものである。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

本発明の請求項 3 に係る超音波探傷装置は、斜角探傷用くさびを介して被検体探傷面より超音波を屈折入射させて被検体の探傷を行う超音波探傷装置において、前記斜角探傷用くさびの傾斜面に複数 n の振動素子をアレイ状に配列して構成した斜角接触子と、前記斜角探傷用接触子のアレイ状に配列された複数 n の振動素子のうちから連続した配列の複数 m (但し $n > m$) の振動素子を選択し、該選択された複数 m の振動素子により一度に超音波の送受信を行う場合に、くさび傾斜方向における前記複数 m の各振動素子の幅及び間隔の総和で決まる振動素子開口幅 D が、くさびの傾斜面に対して垂直に超音波を入射させたときの被検体探傷面に対する超音波の入射角を θ 、屈折角を α 、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程を L 、被検体内を伝搬する超音波の波長を λ とすると、次式 (A) を満足するように前記複数 m の振動素子を設定する設定手段と、前記設定手段により設定された複数 m の各振動素子をそれぞれ励振する際に、前記複数 m の各振動素子毎にその励振タイミングを制御し、また前記複数 m の各振動素子がそれぞれ受波した信号を合成する際に、前記複数 m の各振動素子毎の受波信号の合成タイミングを制御し、前記被検体内に形成される超音波音場を所望の形状とするように制御する音場制御手段とを備えたものである。

10

【 0 0 1 5 】

【 数 4 】

$$D \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} \quad \dots \quad (A)$$

20

【 0 0 1 6 】

【 発明の実施の形態 】

実施形態 1

実施形態 1 では、送受信兼用の斜角探傷用アレイ探傷子を用いた例を示している。

図 1 は本発明の実施形態 1 に係る超音波探傷装置の構成図である。

図 1 において、1 は複数 n 個 (例えば後述する 3 2 個) の振動素子であり、ここでは各振動素子の形状は短冊形で、寸法は同一とする。そしてこの短冊形の短辺がくさび 2 の傾斜方向と一致する配列により、 n 個の振動素子 1 はくさび 2 の傾斜面に一定間隔でアレイ状に配置される。2 はくさび、3 はダンパ材、4 は上記 1 ~ 3 を含む斜角アレイ探傷子である。

30

5 はパルス群であり、前記斜角アレイ探傷子 4 に含まれる複数 n 個の各振動素子 1 を個別に励振する n 個のパルスを含んでいる。

【 0 0 1 7 】

6 は送信用遅延時間制御器であり、送信時の各パルスの励振タイミングを制御できるように、データ処理装置 10 から入力するトリガパルスに対して、制御装置 9 から各パルス毎に個別に指示された遅延時間を付与するための複数 n 個の遅延時間可変素子を含んでいる。

40

7 は受信用遅延時間制御器であり、受信時に、複数 n 個の各振動素子による受波信号を合成する際の合成タイミングを制御できるように、受信時に n 個の振動素子 1 が出力する各受信信号に対して、制御装置 9 から各振動素子毎に個別に指示された n 個の遅延時間を付与するための複数 n 個の遅延時間可変素子を含んでいる。

【 0 0 1 8 】

8 は受信器であり、受信用遅延時間制御器 7 の各出力を受信用振動素子選択切替装置 15 を介して合成して入力し、所定帯域内の信号を所定ゲインで増幅後、検波したビデオ信号をデータ処理装置 10 へ供給する。9 は制御装置であり、パルス群 5 及び受信器 8 に対して、超音波の送信及び受信の制御を行うのと共に、送信用遅延時間制御器 6 内の n 個の各遅延時間可変素子及び受信用遅延時間制御器 7 内の n 個の各遅延時間可変素子に対して、

50

パソコン 11 から指示された通りの遅延時間となるように個別の制御を行い、さらに送信用振動素子選択切替装置 14 及び受信用振動素子選択切替装置 15 の各振動素子毎の選択切替制御をも行う。

10 はデータ処理装置であり、送信用振動素子選択切替装置 14 を介して送信用遅延時間制御器 6 にトリガパルスを出力し、受信器 8 からの入力信号による探傷データの処理を行う。11 はパソコンであり、制御装置 9 及びデータ処理装置 10 を制御する。12 は被検体内の超音波、13 は被検体である。

【0019】

14, 15 はそれぞれ送信用、受信用の振動素子選択切替装置であり、制御装置 9 から回路接続位置が指示された選択制御信号を受信し、アレイ状に配列された複数 n 個の振動素子のうちから連続した配列位置として指示された複数 m 個（但し $n > m$ 、例えば後述する 10 個、16 個等）の各振動素子の回路は接続し、その他の各振動素子の回路は非接続とするように選択切替を行う。

いま $n = 32$ としてアレイの配列順に、各振動素子に #1, #2, #3, ..., #32 と番号を付与しておき、 $m = 10$ とすると、走査探傷を行う場合、送信用、受信用の振動素子選択切替装置は、例えば、1 回目の選択指示では #1 ~ #10 の振動素子群を接続し、2 回目の選択指示では #2 ~ #11 の振動素子群を接続し、第 3 回目の選択指示では #3 ~ #12 の振動素子群を接続するというように、選択接続位置をアレイ配列に従って順次ずらせる（走査させる）。

【0020】

そしてアレイ状に配列された複数 n 個の振動素子のうちから一度の超音波の送受信に使用する連続した配列位置の複数 m 個の振動素子の設定法は、本発明に係る所定の振動素子開口幅 D を満足するように設定されるものであり、その詳細は後述する。

なお、図 1 においては、送信用振動素子選択切替器 14 と受信用振動素子選択切替器 15 は別個の構成になっているが、両方の振動素子選択切替器を一つにして送受兼用としてもよい。

【0021】

図 4 は本発明に係る斜角探傷時の駆動素子群の開口幅決定方法の根拠となる仮想振動子開口幅の説明図である。

図 4 において、媒質 A はくさび（くさび角度は θ とする）、媒質 B は被検体である。12 は媒質 B 内で一定ビーム幅の超音波であり、この超音波の進行方向は、実際とは逆方向の媒質 A から媒質 B へ方向とする。媒質 A 内と媒質 B 内とで超音波の伝搬速度が異なると、媒質 A と媒質 B との境界面において、スネルの法則に従った屈折が生じる。いま、この境界面で屈折が生じないと仮定すると、境界面の P 点から Q 点の範囲にわたり、媒質 B から媒質 A へ直進した超音波 12 のビームは、くさび傾斜面の P 点から Q 点の範囲に到達する。

いま、くさび傾斜面の P 点と Q 点との間に単一の振動子を設けたとして、この P 点と Q 点の間の距離（即ち振動子開口幅）を D とする。なおこの振動子からの超音波が実際に媒質 A から媒質 B へ屈折して入射する場合の入射角は θ （くさび角度に等しい）、屈折角は θ' とする。

【0022】

いま、P 点から、Q 点 ~ Q' 点を通る直線に直角に交るように垂線を引き、その交点を R とする。また P 点と R 点との間の距離を D' とする。

この D' は、図 4 において、実際の振動子開口幅 D を、超音波が媒質 A, B を直進すると考えた場合の超音波伝搬方向と直角な面（波面）に投影したビーム幅であるので、本発明では、これを仮想振動子開口幅と称する。

この仮想振動子開口幅 D' は、くさび角度（即ち媒質 A の入射角）を θ 、媒質 B の屈折角を θ' とすると、図 4 の直角三角形 PQR を参照して、次式（1）で表せる。

$$D' = D \cos(\theta - \theta') \quad \dots \quad (1)$$

なお、上記 D' は、入射角 θ 、屈折角 θ' 、くさび傾斜面上の振動子開口幅 D の斜角探触子

10

20

30

40

50

を用いた場合に、実際の媒質 B 内における超音波ビーム幅である $D \cos \theta / \cos \alpha$ とは異なるものであることを付記する。

【 0 0 2 3 】

次に本発明における振動素子開口幅（本発明では複数の振動素子を用いるので振動素子開口幅というが、単一の振動子の場合は振動子開口幅という）を規定する基準式について説明する。

現在、線収束、点収束等の収束型と呼ばれる超音波探触子が市販されているが、これらの探触子は、振動子に 1 次元又は 2 次元の曲率を直接設けるか、または振動子の音響放射面に音響レンズを設けて超音波を収束させている。

一般に収束型探触子の場合、収束効果が得られるのは、探触子の近距離音場限界距離以内であるといわれており、円形振動子の場合、近距離音場限界距離 x_0 は次式 (2) で表されている。

$$x_0 = D^2 / 4 \lambda = D^2 f / 4 C \quad \dots (2)$$

ここで、 D 、 λ 、 f 、 C は次の通りである。

D : 円形振動子の直径

λ : 伝搬媒質中の超音波の波長

f : 伝搬媒質中の超音波の周波数

C : 伝搬媒質中の超音波の速度

【 0 0 2 4 】

また、収束効果が得られる、すなわち、音場の制御が可能であるのは、振動子の近距離音場限界距離以内であることから、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程を L とすると、 L は次式 (3) となる。

$$L \geq x_0 \quad \dots (3)$$

ここで本発明においては、前記式 (2) における円形振動子の直径 D の代わりに、前記式 (1) で示される仮想振動素子開口幅 D' を用いることを考える。そして式 (1) ~ (3) をまとめて整理すると次式 (4) のような結果が得られる。

【 0 0 2 5 】

【 数 5 】

$$D \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} \quad \dots (4)$$

【 0 0 2 6 】

ただし、式 (4) 中の L には、くさび内の透過距離のパラメータが含まれていないが、このパラメータを例えば k とすると、式 (3) は次式 (3') となる。

$$L + k \geq x_0 \quad \dots (3')$$

式 (3') を用いると式 (4) は次式 (4') となる。

【 0 0 2 7 】

【 数 6 】

$$D \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot (L+k)}}{\cos(\theta - \alpha)} \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} \quad \dots (4')$$

【 0 0 2 8 】

従って ($L + k$) の代わりに L を使用しても、式 (4) の本質的意味は変化しない。

なお、斜角探傷でなく、実施形態 2 で述べる垂直探傷の場合は、式 (4) において、 $\alpha = 0$ とすればよい。

【 0 0 2 9 】

10

20

30

40

50

図1のように複数n個の振動素子1をアレイ状に配置した斜角探触子4を用い、この複数n個の振動素子のうちから連続した配列位置の複数m個(但しn > m)の振動素子を選択し、この選択された複数m個の振動素子により一度に超音波の送受信を行う場合に、本発明に係る所定の振動素子開口幅Dを満足するように前記複数m個の振動素子を設定する方法を説明する。

まず図1の短冊形振動素子1のうち、一度の送受信で駆動する複数の振動素子による開口幅Dは下記の基準に従う。

即ち、くさび傾斜方向における複数n個の振動素子のうち、一度の送受信で駆動する連続した配列の素子数をmとすると、このm個の各振動素子の幅(短冊形振動素子1の短辺の幅)及び間隔の総和で決まる振動素子群としての開口幅Dは、くさび角度を α 、被検体13内への屈折角を θ として、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程をL、被検体13内を伝搬する超音波の波長を λ とした場合、前記式(4)を満足するよう選択する。

たとえば、複数配列した振動素子のくさび傾斜方向の幅は一定でaとし、配列の間隔も全て一定でbとすると、一度の送受信で駆動する振動素子数mは、次式(5)を満足するよう選択することになる。

【0030】

【数7】

$$D = am + (m - 1)b \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)}$$

$$m \geq \frac{1}{a + b} \left(\frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} + b \right) \quad \dots \quad (5)$$

【0031】

パソコン11は、まず前記式(4)の振動素子開口幅Dを満足するように一度の送受信で駆動される連続した配列の振動素子の素子数mを前記式(5)により算出する。そしてこの算出した駆動素子数mのデータを制御装置9へ供給すると共に、決定された駆動素子開口幅を用いて探傷する際に、きず検出感度や検出分解能等を向上させるために、被検体13内に形成される超音波音場を収束させて所望の形状となるように、送信用遅延時間制御器6及び受信用遅延時間制御器7内の各遅延時間可変素子に付与すべき各遅延時間を予め算出して、これを音場制御データとして制御装置9に与えておく。

上記被検体13内における好ましい収束音場としては、斜角探傷範囲をカバーするのに必要なビーム路程の長、短や、探傷位置(振動素子からの距離)の既知、未知等によって、超音波ビームを比較的ゆるやかに収束させる(あまり超音波ビームを絞らない)場合と、かなり超音波ビームを絞って所望の探傷位置におけるビーム径を小さくする場合等があり、探傷仕様にに基づき所望の形状の超音波音場が適宜選択される。

【0032】

制御装置9は、パソコン11から予め供給されている駆動素子数m及び音場制御データに基づき、超音波の走査探傷を行う場合には、その走査順序に従い同時駆動振動素子群の位置と順番を決定する。例えばアレイの配列順に各振動素子に#1, #2, ..., #nの番号を付与しておき、1回目の探傷では#1 ~ #mの振動素子群、2回目の探傷では#2 ~ #(m+1)の振動素子群、3回目の探傷では#3 ~ #(m+2)の振動素子群を選択するというように決めておく。

そして制御装置9は、走査探傷の場合に上記のように決定した同時駆動振動素子群の位置と順番とに基づき超音波送信時には、その時点での同時駆動振動素子群のみを送信回路に接続させるように送信用振動素子選択切替器14に選択制御信号を供給すると共に、パル

10

20

30

40

50

サ群 5 内の各パルサに対する入力トリガパルスに個別の遅延時間を付与する送信用遅延時間制御器 6 内の m 個の各遅延時間可変素子に対して、指示された音場制御データの通り各遅延時間を制御する。その結果、パルサ群 5 内の各パルサがそれぞれ励振する m 個の振動素子 1 の各励振タイミングが制御され、所望の送信音場が形成される。

【 0 0 3 3 】

また制御装置 9 は、超音波受信時には、その時点での同時駆動振動素子群に含まれる m 個の振動素子 1 の各受信信号にそれぞれ個別の遅延時間を付与する受信用遅延時間制御器 7 内の各遅延時間可変素子に対して、指示された音場データの通り各遅延時間を制御すると共に、その時点での同時駆動振動素子群のみを受信部 8 に接続させるように受信用振動素子選択切替器 15 に選択制御信号を供給する。その結果、受信用遅延時間制御器 7 の出力は、受信時に使用する振動素子の出力のみが選択接続され、この接続された m 個の遅延受波信号が受信器 8 に供給される。このようにして m 個の各振動素子毎の受波信号の合成タイミングが制御され、所望の受信音場が形成される。

【 0 0 3 4 】

受信器 8 では、この合成入力信号に対して、前記式 (4) の波長 を中心周波数とする所定周波数帯域の信号を所定ゲインで増幅後、検波したビデオ信号をデータ処理装置 10 に供給する。データ処理装置 10 では、この入力ビデオ信号からきずデータの抽出、きず位置及び寸法の算出等の処理を行い、この処理結果をパソコン 11 に通知する。パソコン 11 は、この通知情報を図示しない表示器に表示したり、プリンタや記録計に出力する。

【 0 0 3 5 】

このように図 1 の実施形態 1 では、前記式 (4) の振動素子開口幅を満足するように、くさび傾斜面にアレイ配置される複数 n の振動素子うち必要とする連続配列素子数 m を選択することにより、厚い鋼板の探傷など、超音波ビーム路程が大きくなる場合や超音波の減衰が大きな材料の探傷を行う場合にも高感度での探傷ができるうえ、状況に応じて振動素子開口幅を可変とすることができるため、板厚等の被検体の状況変化に対応することができる。

またアレイ配列された複数 n の振動素子のうちから連続した配列の複数 m の振動素子を選択する際に、これらの選択位置を前記アレイ配列に従って順次ずらせて選択することにより高速で走査探傷を行うことができる。

また送受信に使用する各振動素子のパルス励振タイミング及び受信信号の波形合成タイミングを制御して、被検体内での超音波ビームの広がりを制御することで、超音波の広がりに起因する不要なエコーの発生が抑制され、且つ欠陥部を精度良く検出することができる。

なお複数 n 個の各振動素子の寸法は、同一であっても同一でなくとも、選択された振動素子 m 個によって所定の振動素子開口幅を満たせばよい。

【 0 0 3 6 】

図 2 は本発明の実施形態 1 に係る図 1 と異なる超音波探触子の例を示す図である。

図 2 は、図 1 の短冊形振動素子 1 の代りに、正方形又は矩形の振動素子を行方向と列方向にマトリックス状 (2 次的) に配置したものである。このマトリックス状配置では、振動素子開口幅と全体の振動素子面積の両方の調整が容易となる (図の D と W の調整により) 。

また図 1 の超音波探触子では、ビーム収束は、くさび傾斜方向の 1 次元方向のみに制御されるが、図 2 の超音波探触子では、ビーム収束は、くさび傾斜方向とその直角方向の 2 次元方向に制御が可能となる。

【 0 0 3 7 】

実施形態 2

実施形態 2 では、送受波兼用の垂直探傷用アレイ探触子を用いた例を示している。

図 3 は本発明の実施形態 2 に係る超音波探傷装置の構成図である。

図 3 では、図 1 の斜角アレイ探触子 4 の代りに垂直アレイ探触子 4 A を用いてる点のみが、図 1 と異なり、その他は図 1 と同一の構成になっている。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

図 3 の垂直探傷の場合には、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程 L が、探傷範囲または対象とする探傷位置により決定される探傷面からの深さ d となり、超音波の入射角、屈折角が共に 0 となるため、一度の送受信で駆動する連続した配列の複数の各短冊形振動子 1 の短辺の幅及び間隔の総和で決定される振動素子開口幅 D は、被検体 1 3 内を伝搬する超音波の波長を λ とすると、次式 (6) となるよう選択すればよい。

【 0 0 3 9 】

【 数 8 】

$$D \geq \sqrt{4\lambda \cdot d} \quad \dots \quad (6)$$

10

【 0 0 4 0 】

それ以外の構成および作用、効果は図 1 の場合と同じである。なお、垂直探傷の場合も、振動素子の配列を 2 次元的に配列したマトリックス型探触子を用いて 2 次元方向のビーム制御が可能である。

【 0 0 4 1 】

次に、図 1 の超音波探傷装置による斜角探傷試験結果を説明する。

ここでは、試験片として、厚さ 120 mm の鋼製ブロックに、探傷面から深さ 100 mm の位置に 3 mm の横向きのドリル穴を加工した試験片を用いた場合の斜角探傷試験結果を示す。

20

この試験では、通常の斜角探傷と同様にくさびを用いて試験片中に横波が入射する構成とし、超音波周波数 5 MHz を用いた。また、くさびはポリスチレン製のものを用い、くさび角度は試験片中で屈折角度が 70° になるような角度で 42.7° とした。

【 0 0 4 2 】

図 5 は、振動素子の開口幅 D を変化させ、超音波音場を収束制御した場合と、しない場合での上記試験片横穴でのビーム広がり測定例を示す図である。

この場合、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程 L は、きず位置を対象として、 $L = 100 \text{ mm} / \cos 70^\circ = 292 \text{ mm}$ となり、試験片中の横波音速を 3230 m/s とすると超音波波長 $\lambda = 0.65 \text{ mm}$ となる。これらの $L = 292 \text{ mm}$ 、 $\lambda = 0.65 \text{ mm}$ 、 $\theta = 42.7^\circ$ 、 $\alpha = 70^\circ$ を用いて計算される必要最小限の開口幅 D を D_{\min} とすると、 D_{\min} は式 (4) に基づき、次式 (7) のように求められる。

30

なお、探傷範囲を試験片全体とする場合には、 $L = 120 \text{ mm} / \cos 70^\circ = 351 \text{ mm}$ とすればよい。

【 0 0 4 3 】

【 数 9 】

$$D_{\min} = \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} = \frac{\sqrt{4 \cdot 0.65 \cdot 292}}{\cos(70 - 42.7)} \doteq 31.0 \text{ mm} \quad \dots \quad (7)$$

40

【 0 0 4 4 】

図 5 において、横軸はくさび傾斜方向における一度の送受信で駆動する連続した配列の複数の各振動素子の幅及び間隔の総和で決まる振動素子開口幅 D を、上記 D_{\min} で除した値 D / D_{\min} を、縦軸は各条件での横穴のエコーピークを 0 dB としたときの、-6 dB のビーム幅 W_{b-6dB} を上記 D_{\min} で除した値 W_{b-6dB} / D_{\min} を示している。また図の黒丸は音場制御あり、白丸は音場制御なしの場合である。

図 5 により、 D / D_{\min} が 1 以下、すなわち、振動素子開口幅 D が D_{\min} より小さい場合

50

においては、 W_{b-6dB} / D_{min} が大きくビーム幅が広い。また、音場制御の有無でビーム幅に差がなく、音場の制御が有効でないことがわかる。

一方、 D / D_{min} が 1 より大きい場合は、音場制御ありの場合ビーム幅が狭くなり、音場制御なしの場合ビーム幅が広くなり、音場制御の有無でビーム幅の違いが明白である。従って音場制御を行う場合、振動素子開口幅 D は式(4)を満足させるように設定する必要がある。

【0045】

次に、厚さ 120 mm の鋼製ブロックに、探傷面から深さ 100 mm の位置に 3 mm の横向きのドリル穴を加工した試験片、および、厚さ 60 mm の鋼製ブロックに、探傷面から深さ 40 mm の位置に 3 mm の横向きのドリル穴を加工した試験片の 2 種類を用いた試験を行った。

10

この試験では、通常の斜角探傷と同様にくさびを用いて試験片中に横波が入射する構成とし、超音波周波数 5 MHz を用いた。また、くさびはポリスチレン製のものを用い、くさび角度は試験片中で屈折角度が 70° になるような角度で 42.7° とした。

【0046】

これらの試験片では、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程 L は、きず位置を対象とした場合、それぞれ以下のようになる。

$$60 \text{ mm 試験片の場合: } L = 40 \text{ mm} / \cos 70^\circ = 117 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm 試験片の場合: } L = 100 \text{ mm} / \cos 70^\circ = 292 \text{ mm}$$

一方、斜角探傷範囲または斜角探傷位置により決定されるビーム路程 L は、試験片全体を対象とした場合、それぞれ以下のようになる。

20

$$60 \text{ mm 試験片の場合: } L = 60 \text{ mm} / \cos 70^\circ = 175 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm 試験片の場合: } L = 120 \text{ mm} / \cos 70^\circ = 351 \text{ mm}$$

また、試験片中の横波音速を 3230 m/s とすると超音波波長は 0.65 mm となる。上記の L 、 $\lambda = 0.65 \text{ mm}$ 、 $\theta = 42.7^\circ$ 、 $\alpha = 70^\circ$ を用いて計算される必要最小限の開口幅 D を D_{min} とすると、 D_{min} は式(4)に基づき、それぞれの試験片および斜角探傷対象位置に対し次式(8)～(11)のようになる。

【0047】

【数10】

$$D_{min} = \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} = \frac{\sqrt{4 \cdot 0.65 \cdot 117}}{\cos(70 - 42.7)} \doteq 19.6 \text{ mm} \quad \dots (8)$$

30

$$D_{min} = \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} = \frac{\sqrt{4 \cdot 0.65 \cdot 292}}{\cos(70 - 42.7)} \doteq 31.0 \text{ mm} \quad \dots (9)$$

$$D_{min} = \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} = \frac{\sqrt{4 \cdot 0.65 \cdot 175}}{\cos(70 - 42.7)} \doteq 24.0 \text{ mm} \quad \dots (10)$$

40

$$D_{min} = \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} = \frac{\sqrt{4 \cdot 0.65 \cdot 351}}{\cos(70 - 42.7)} \doteq 34.0 \text{ mm} \quad \dots (11)$$

【0048】

試験片中での屈折角 70° 、周波数 5 MHz の場合で、振動素子配列ピッチ 2 mm、振動素子配列数 32 の斜角アレイ探触子を用いた場合、上記式(8)～(11)の値に基づき、それぞれの場合における同時駆動振動素子数は以下のようになる。

60mm試験片	きず位置を対象	10素子以上
	試験片全体	12素子以上
120mm試験片	きず位置を対象	16素子以上
	試験片全体	17素子以上

【0049】

上記のような同時駆動素子数の範囲で、被検体内に形成される超音波音場が所望の形状となるように、同時駆動を行う連続した配列の振動素子の数とその配列位置とを32個のアレイ配列された振動素子のうちから選択すればよく、音場制御における素子数の選択肢が

10

【0050】

仮に同時駆動素子を10素子として走査探傷を行う場合、走査ステップの精粗に応じて、同時駆動振動素子群の選択位置を、超音波の送受信のたびに、前者のときには、例えば(#1~#10)、(#2~#11)、(#3~#12)、...と順次ずらし、後者のときには、例えば(#1~#10)、(#4~#13)、(#7~#16)、...と順次ずらすことにより、高速に超音波の入射点の移動が可能となる。

【0051】

なお、実施形態1と2は斜角探傷と垂直探傷とが異なるのみで、その他は同様に動作するので、実施形態2においても、実施形態1と同様の効果が得られる。

20

【0052】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、斜角探傷用くさびを介して被検体探傷面より超音波を屈折入射させて被検体の探傷を行う超音波探傷方法およびその装置において、前記斜角探傷用くさびの傾斜面に複数nの振動素子をアレイ状に配列し、該複数nの振動素子のうちから連続した配列の複数m(但しn>m)の振動素子を選択し、該選択された複数mの振動素子により一度に超音波の送受信を行う場合に、くさび傾斜方向における前記複数mの各振動素子の幅及び間隔の総和で決まる振動素子開口幅Dが、くさびの傾斜面に対して垂直に超音波を入射させたときの被検体探傷面に対する超音波の入射角を、屈折角を、斜角探傷範囲または斜角探傷の対象位置により決定されるビーム路程をL、被検体内を伝搬する超音波の波長を とすると、次式(A)を満足するように前記複数mの振動素子を設定するようにしたので、斜角探傷において、厚い鋼板の探傷など、超音波ビーム路程が大きくなる場合や超音波の減衰が大きな材料の探傷を行う場合にも高感度での探傷ができるうえ、状況に応じて振動子開口幅を可変とすることができるため、板厚等の被検体の状況変化に対応することができる。

30

【0053】

また斜角探傷において、アレイ配列された複数nの振動素子のうちから連続した配列の複数mの振動素子を選択する際に、これらの選択位置を前記アレイ配列に従って順次ずらせて選択することにより高速で走査探傷を行うことができる。

【0054】

【数11】

$$D \geq \frac{\sqrt{4\lambda \cdot L}}{\cos(\theta - \alpha)} \quad \dots \quad (A)$$

40

【0055】

また本発明によれば、前記斜角探傷において、前記設定された複数mの各振動素子をそれぞれ励振する際に、前記複数mの各振動素子毎にその励振タイミングを制御し、また前記複数mの各振動素子がそれぞれ受波した信号を合成する際に、前記複数mの各振動素子毎

50

の受波信号の合成タイミングを制御し、前記被検体内に形成される超音波音場を所望の形状とするように制御するので、超音波の広がり起因する不要なエコーの発生が抑止され、且つ欠陥部の精度の良い検出が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態 1 に係る超音波探傷装置の構成図である。

【図 2】本発明の実施形態 1 に係る図 1 と異なる超音波探触子の例を示す図である。

【図 3】本発明の実施形態 2 に係る超音波探傷装置の構成図である。

【図 4】本発明に係る斜角探傷時の仮想振動子開口幅の説明図である。

【図 5】振動素子開口幅を変化させ、超音波音場を収束制御した場合としない場合での超音波ビーム広がり測定例を示す図である。

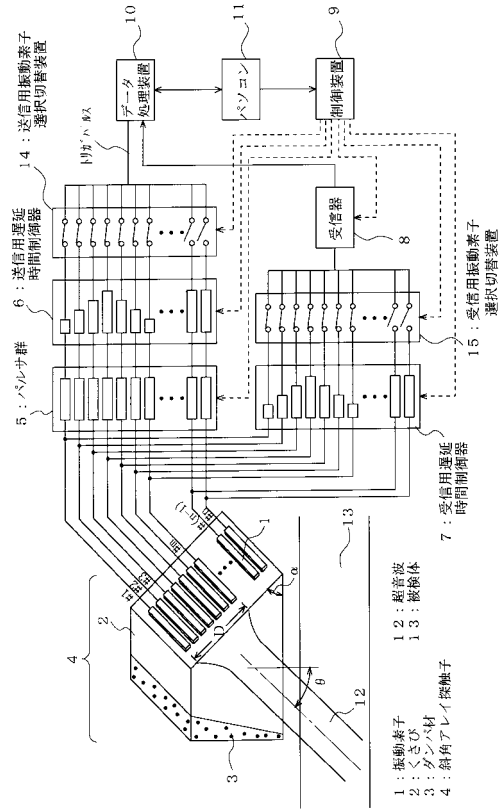
10

【符号の説明】

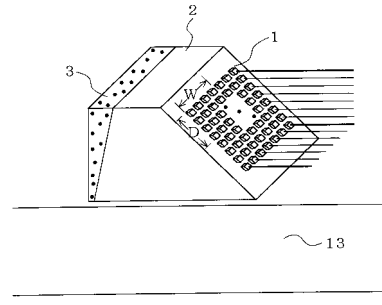
- 1 振動素子
- 2 くさび
- 3 ダンパ材
- 4 斜角アレイ探触子
- 4 A 垂直アレイ探触子
- 5 パルサ群
- 6 送信用遅延時間制御器
- 7 受信用遅延時間制御器
- 8 受信器
- 9 制御装置
- 10 データ処理装置
- 11 パソコン
- 12 超音波
- 13 被検体
- 14 送信用振動素子選択切替装置
- 15 受信用振動素子選択切替装置

20

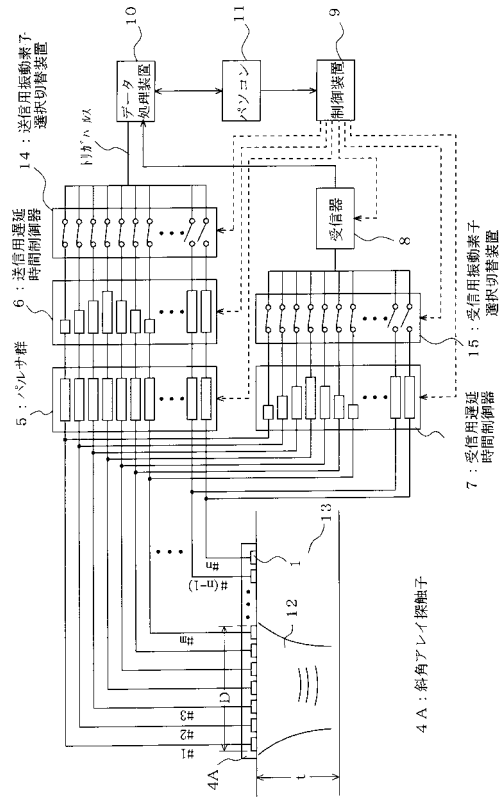
【図1】



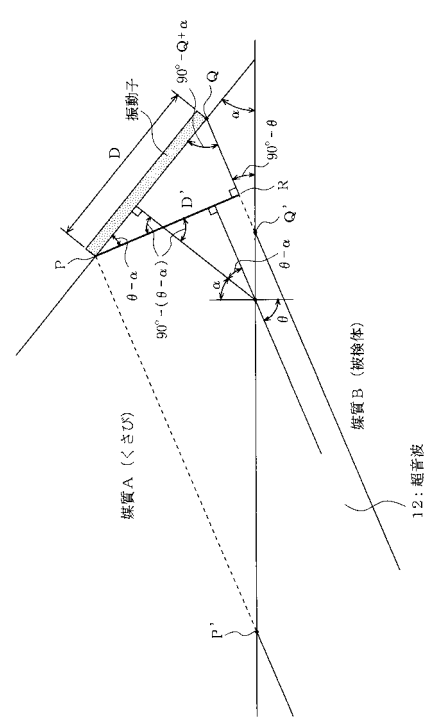
【図2】



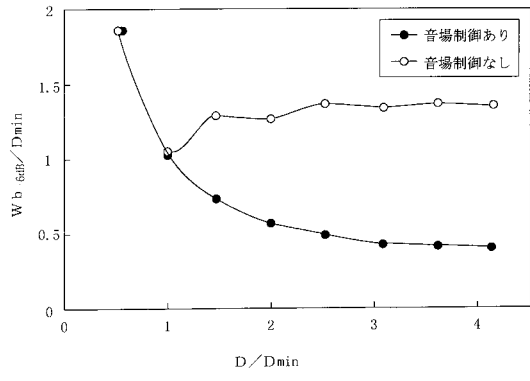
【図3】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 山田 浩司
東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

審査官 鈴木 俊光

(56)参考文献 特開昭58-113746(JP,A)
特開昭54-143194(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G01N 29/00 - 29/28