

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第6990046号  
(P6990046)

(45)発行日 令和4年1月12日(2022.1.12)

(24)登録日 令和3年12月7日(2021.12.7)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 N 29/12 (2006.01)

G 0 1 N 29/12

G 0 1 N 29/46 (2006.01)

G 0 1 N 29/46

請求項の数 11 (全28頁)

(21)出願番号	特願2017-108378(P2017-108378)	(73)特許権者	000006208
(22)出願日	平成29年5月31日(2017.5.31)		三菱重工業株式会社
(65)公開番号	特開2018-205033(P2018-205033 A)	(74)代理人	110002147 特許業務法人酒井国際特許事務所
(43)公開日	平成30年12月27日(2018.12.27)	(72)発明者	林 恭平 東京都港区港南二丁目1 6 番 5 号 三菱 重工業株式会社内
審査請求日	令和2年5月25日(2020.5.25)	審査官	佐藤 仁美

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 検査対象物の内部欠陥の検出方法及び検出装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

検査対象物の内部欠陥の検出方法であって、  
超音波信号が照射された前記検査対象物から反射される反射信号を取得する反射信号取得  
ステップと、  
前記反射信号を周波数毎のスペクトル信号に分解した解析信号を生成する解析信号生成ス  
テップと、  
前記解析信号に含まれる周波数毎のスペクトル信号の数に基づき、前記反射信号が、前記  
検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織  
から反射されたものであるかを判定する欠陥判定ステップと、  
を有する、検査対象物の内部欠陥の検出方法。

## 【請求項 2】

前記欠陥判定ステップにおいて、  
前記解析信号に含まれる周波数毎のスペクトル信号の数が、所定の閾値より少ない場合に  
、その解析信号に対応する反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたもので  
あると判定し、  
前記解析信号に含まれる周波数毎のスペクトル信号の数が、前記所定の閾値以上である場  
合に、その解析信号に対応する反射信号が、前記検査対象物の再結晶組織から反射された  
ものであると判定する、請求項 1 に記載の検査対象物の内部欠陥の検出方法。

## 【請求項 3】

前記反射信号取得ステップにおいて、互いに位置が異なる複数の箇所から検出した前記反射信号を取得し、

前記欠陥判定ステップにおいて、箇所毎の前記反射信号同士の強度比にも基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する、請求項 1 又は請求項 2 に記載の検査対象物の内部欠陥の検出方法。

【請求項 4】

前記反射信号取得ステップにおいて、周波数を変化させて照射した前記超音波信号の反射信号を取得し、

前記欠陥判定ステップにおいて、前記反射信号の強度が所定値以上となる前記反射信号の周波数の値である応答周波数にも基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の検査対象物の内部欠陥の検出方法。

10

【請求項 5】

検査対象物の内部欠陥の検出方法であって、

超音波信号が照射された前記検査対象物から反射される反射信号であって、互いに位置が異なる複数の箇所から検出した前記反射信号を取得する反射信号取得ステップと、

箇所毎の前記反射信号同士の強度比に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定ステップと、

20

を有し、

前記欠陥判定ステップにおいて、

箇所毎の前記反射信号同士の強度比が、所定の強度比閾値の範囲外である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであると判定し、

箇所毎の前記反射信号同士の強度比が、前記所定の強度比閾値の範囲内である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の再結晶組織から反射されたものであると判定する、  
検査対象物の内部欠陥の検出方法。

【請求項 6】

前記反射信号取得ステップにおいて、周波数を変化させて照射した前記超音波信号の反射信号を取得し、

30

前記欠陥判定ステップにおいて、前記反射信号の強度が所定値以上となる前記反射信号の周波数の値である応答周波数にも基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する、請求項 5 に記載の検査対象物の内部欠陥の検出方法。

【請求項 7】

検査対象物の内部欠陥の検出方法であって、

前記検査対象物に周波数を変化させて照射された超音波信号に対して、前記検査対象物から反射される反射信号を取得する反射信号取得ステップと、

前記反射信号の強度が所定値以上となる前記反射信号の周波数のうちの最小値である応答周波数を検出し、前記応答周波数に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定ステップと、

40

を有し、

前記欠陥判定ステップにおいて、

前記応答周波数が所定の周波数閾値より小さい場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであると判定し、

前記応答周波数が前記所定の周波数閾値以上である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の再結晶組織から反射されたものであると判定する、

検査対象物の内部欠陥の検出方法。

50

## 【請求項 8】

前記検査対象物は、高クロム鋼で形成された部材である、請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の検査対象物の内部欠陥の検出方法。

## 【請求項 9】

検査対象物の内部欠陥の検出装置であって、  
超音波信号が照射された前記検査対象物から反射される反射信号を取得する反射信号取得部と、  
前記反射信号を周波数毎のスペクトル信号に分解した解析信号を生成する解析信号生成部と、  
前記解析信号に含まれる周波数毎のスペクトル信号の数に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定部と、  
を有する、検査対象物の内部欠陥の検出装置。

10

## 【請求項 10】

検査対象物の内部欠陥の検出装置であって、  
超音波信号が照射された前記検査対象物から反射される反射信号であって、互いに位置が異なる複数の箇所から検出した前記反射信号を取得する反射信号取得部と、  
箇所毎の前記反射信号同士の強度比に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定部と、  
を有し、  
前記欠陥判定部は、

20

箇所毎の前記反射信号同士の強度比が、所定の強度比閾値の範囲外である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであると判定し、  
箇所毎の前記反射信号同士の強度比が、前記所定の強度比閾値の範囲内である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の再結晶組織から反射されたものであると判定する、  
検査対象物の内部欠陥の検出装置。

## 【請求項 11】

検査対象物の内部欠陥の検出装置であって、  
前記検査対象物に周波数を変化させて照射された超音波信号に対して、前記検査対象物から反射される反射信号を取得する反射信号取得部と、  
前記反射信号の強度が所定値以上となる前記反射信号の周波数のうちの最小値である応答周波数を検出し、前記応答周波数に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定部と、  
を有し、  
前記欠陥判定部は、

30

前記応答周波数が所定の周波数閾値より小さい場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであると判定し、  
前記応答周波数が前記所定の周波数閾値以上である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の再結晶組織から反射されたものであると判定する、  
検査対象物の内部欠陥の検出装置。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、検査対象物の内部欠陥の検出方法及び検出装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

火力発電設備の配管等、高温・高圧条件下で使用される機器などには、例えば高クロム鋼で形成された溶接部が設けられている。この溶接部は、高温・高圧条件下に晒されるため

50

、クリープなどにより内部に欠陥が生じる場合がある。この内部欠陥は、溶接部の破損のリスクを高めるため、非破壊検査により内部欠陥を検出する必要がある。

【 0 0 0 3 】

内部欠陥の検出には、超音波探傷法が用いられる場合がある。超音波探傷法では、溶接部、すなわち検査対象物に超音波信号を照射し、その超音波信号に対する検査対象物からの反射信号を検出する。そして、その反射信号を解析して、例えば反射信号の強度が高い場合に、その反射信号が内部欠陥からの反射信号であると判断して、内部欠陥を検出する。

【 0 0 0 4 】

また、例えば高クロム鋼などの検査対象物は、内部に再結晶組織を析出する場合がある。この再結晶組織は、析出していたとしても、内部欠陥よりも、破損に導くリスクは小さい。しかし、この再結晶組織は、他の領域と組織が異なるため、超音波信号を反射する。従って、反射信号を解析した場合に、再結晶組織からの反射信号がノイズとなり、内部欠陥の検出精度が低下するおそれがある。例えば、特許文献 1 には、デンドライト組織によるノイズエコーが生じる場合であっても欠陥の検出精度の低下を抑制するために、内部欠陥の無い溶接体の超音波探傷の検査を予め行い、その検査結果を用いて、ノイズエコー成分を除去するための補正係数を算出するという技術が記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【文献】特開平 8 - 9 4 5 8 8 号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

特許文献 1 の技術では、内部欠陥の無い溶接体を予め準備する必要がある。しかし、内部欠陥の無い溶接体を製造することは困難であり、実際には内部欠陥が生じているおそれがある。また、特許文献 1 の技術では、溶接体に再結晶組織が無い場合もあるため、内部欠陥であるか再結晶組織であるかを判定できないおそれもある。従って、特許文献 1 の技術では、内部欠陥の検出精度低下を抑制することができないおそれがある。従って、超音波探傷法により検査対象物の内部欠陥を検出するに当たり、より好適に内部欠陥の検出精度低下を抑制することが求められている。

30

【 0 0 0 7 】

本発明は、上述した課題を解決するものであり、超音波探傷法により検査対象物の内部欠陥を検出するに当たり、内部欠陥の検出精度低下を抑制する検査対象物の内部欠陥の検出方法、及び検出装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係る検査対象物の内部欠陥の検出方法は検査対象物の内部欠陥の検出方法であって、超音波信号が照射された前記検査対象物から反射される反射信号を取得する反射信号取得ステップと、前記反射信号のピークの数に基づき、その反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定ステップと、を有する。この検出方法では、反射信号のピーク P の数に基づき、内部欠陥であるか再結晶組織であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥の検出精度の低下を抑制することが可能となる。

40

【 0 0 0 9 】

前記検出方法は、前記反射信号を解析して、前記反射信号を周波数毎のスペクトル信号に分解した解析信号を生成する解析信号生成ステップを更に有し、前記欠陥判定ステップにおいて、前記解析信号に含まれる周波数毎のスペクトル信号の数が、所定の閾値より少ない場合に、その解析信号に対応する反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであると判定し、前記解析信号に含まれる周波数毎のスペクトル信号の数が、前記

50

所定の閾値以上である場合に、その解析信号に対応する反射信号が、前記検査対象物の再結晶組織から反射されたものであると判定することが好ましい。この検出方法によると、スペクトル信号の数に基づき検出を行うことで、ピーク数の検出精度を好適に向上させて、内部欠陥の検出精度の低下をより好適に抑制することが可能となる。

【 0 0 1 0 】

前記検出方法は、前記反射信号取得ステップにおいて、互いに位置が異なる複数の箇所から検出した前記反射信号を取得し、前記欠陥判定ステップにおいて、箇所毎の前記反射信号同士の強度比にも基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定することが好ましい。この検出方法によると、内部欠陥の検出精度の低下をより好適に抑制することが可能となる。

10

【 0 0 1 1 】

前記検出方法は、前記反射信号取得ステップにおいて、周波数を変化させて照射した前記超音波信号の反射信号を取得し、前記欠陥判定ステップにおいて、前記反射信号の強度が所定値以上となる前記反射信号の周波数の値である応答周波数にも基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定することが好ましい。この検出方法によると、内部欠陥の検出精度の低下をより好適に抑制することが可能となる。

【 0 0 1 2 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係る検査対象物の内部欠陥の検出方法は、検査対象物の内部欠陥の検出方法であって、超音波信号が照射された前記検査対象物から反射される反射信号であって、互いに位置が異なる複数の箇所から検出した前記反射信号を取得する反射信号取得ステップと、箇所毎の前記反射信号同士の強度比に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定ステップと、を有する。この検出方法は、異なる箇所での反射信号の強度比に基づき、内部欠陥であるか再結晶組織であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥の検出精度の低下を抑制することが可能となる。

20

【 0 0 1 3 】

前記検出方法は、前記欠陥判定ステップにおいて、箇所毎の前記反射信号同士の強度比が、所定の強度比閾値の範囲外である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであると判定し、箇所毎の前記反射信号同士の強度比が、前記所定の強度比閾値の範囲内である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の再結晶組織から反射されたものであると判定することが好ましい。この検出方法は、強度比の大きさに基づき、内部欠陥であるか再結晶組織であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥の検出精度の低下をより好適に抑制することが可能となる。

30

【 0 0 1 4 】

前記検出方法は、前記反射信号取得ステップにおいて、周波数を変化させて照射した前記超音波信号の反射信号を取得し、前記欠陥判定ステップにおいて、前記反射信号の強度が所定値以上となる前記反射信号の周波数の値である応答周波数にも基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定することが好ましい。この検出方法によると、内部欠陥の検出精度の低下をより好適に抑制することが可能となる。

40

【 0 0 1 5 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係る検査対象物の内部欠陥の検出方法は、検査対象物の内部欠陥の検出方法であって、前記検査対象物に周波数を変化させて照射された超音波信号に対して、前記検査対象物から反射される反射信号を取得する反射信号取得ステップと、前記反射信号の強度が所定値以上となる前記反射信号の周波数の値である応答周波数に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判

50

定する欠陥判定ステップと、を有する。この検出方法は、強度が所定値以上となった場合の反射信号の周波数（応答周波数）に基づき、内部欠陥であるか再結晶組織であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥の検出精度の低下を抑制することが可能となる。

【 0 0 1 6 】

前記検出方法は、前記欠陥判定ステップにおいて、前記応答周波数が所定の周波数閾値より小さい場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであると判定し、前記応答周波数が前記所定の周波数閾値以上である場合に、前記反射信号が、前記検査対象物の再結晶組織から反射されたものであると判定することが好ましい。この検出方法は、応答周波数の大きさに基づき、内部欠陥であるか再結晶組織であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥の検出精度の低下をより好適に抑制することが可能となる。

10

【 0 0 1 7 】

前記検査対象物は、高クロム鋼で形成された部材であることが好ましい。この検出方法によると、高クロム鋼で形成された部材の内部欠陥の検出精度の低下を好適に抑制することができる。

【 0 0 1 8 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係る検査対象物の内部欠陥の検出装置は、検査対象物の内部欠陥の検出装置であって、超音波信号が照射された前記検査対象物から反射される反射信号を取得する反射信号取得部と、前記反射信号の周波数毎のスペクトルのピークの数に基づき、その反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定部と、を有する。この検出装置は、内部欠陥の検出精度の低下を抑制することができる。

20

【 0 0 1 9 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係る検査対象物の内部欠陥の検出装置は、検査対象物の内部欠陥の検出装置であって、超音波信号が照射された前記検査対象物から反射される反射信号であって、互いに位置が異なる複数の箇所から検出した前記反射信号を取得する反射信号取得部と、箇所毎の前記反射信号同士の強度比に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定部と、を有する。この検出装置は、内部欠陥の検出精度の低下を抑制することができる。

30

【 0 0 2 0 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係る検査対象物の内部欠陥の検出装置は、検査対象物の内部欠陥の検出装置であって、前記検査対象物に周波数を変化させて照射された超音波信号に対して、前記検査対象物から反射される反射信号を取得する反射信号取得部と、前記反射信号の強度が所定値以上となる前記反射信号の周波数の値である応答周波数に基づき、前記反射信号が、前記検査対象物の内部欠陥から反射されたものであるか、前記検査対象物の内部の再結晶組織から反射されたものであるかを判定する欠陥判定部と、を有する。この検出装置は、内部欠陥の検出精度の低下を抑制することができる。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 2 1 】

本発明によれば、超音波探傷法により検査対象物の内部欠陥を検出するに当たり、内部欠陥の検出精度低下を抑制することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 2 】

【 図 1 】 図 1 は、本実施形態に係る超音波検査装置の模式図である。

【 図 2 】 図 2 は、超音波探傷の原理を説明するグラフである。

【 図 3 】 図 3 は、第 1 実施形態に係る検査装置の模式的なブロック図である。

50

【図 4】図 4 は、解析信号の生成を説明する模式図である。

【図 5】図 5 は、内部欠陥起因の解析信号の波形の一例を示したグラフである。

【図 6】図 6 は、再結晶組織起因の解析信号の波形の一例を示したグラフである。

【図 7】図 7 は、第 1 実施形態に係る内部欠陥の検出フローを説明するフローチャートである。

【図 8】図 8 は、第 1 実施形態に係る内部欠陥の検出フローの他の例を説明するフローチャートである。

【図 9】図 9 は、第 1 実施形態に係る内部欠陥の検出フローの他の例を説明するフローチャートである。

【図 10】図 10 は、平滑化処理の一例を示すグラフである。

10

【図 11】図 11 は、第 2 実施形態に係る検査装置の模式的なブロック図である。

【図 12 A】図 12 A は、内部欠陥からの反射波の様子を示した模式図である。

【図 12 B】図 12 B は、再結晶組織からの反射波の様子を示した模式図である。

【図 13】図 13 は、第 2 実施形態に係る内部欠陥の検出フローを説明するフローチャートである。

【図 14】図 14 は、第 3 実施形態に係る検査装置の模式的なブロック図である。

【図 15】図 15 は、反射信号の周波数毎の強度の変化を示す模式的なグラフである。

【図 16】図 16 は、第 3 実施形態に係る内部欠陥の検出フローを説明するフローチャートである。

【図 17 A】図 17 A は、空隙からの反射信号と解析信号の波形を示す図である。

20

【図 17 B】図 17 B は、亀裂からの反射信号と解析信号の波形を示す図である。

【図 17 C】図 17 C は、再結晶組織からの反射信号と解析信号の波形を示す図である。

【図 18】図 18 は、内部欠陥による反射信号の周波数範囲毎の波形を示すグラフである。

【図 19】図 19 は、再結晶組織による反射信号の周波数範囲毎の波形を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下に添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態を詳細に説明する。なお、この実施形態により本発明が限定されるものではなく、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせるものも含むものである。

30

【0024】

(第 1 実施形態)

本実施例に係る超音波検査装置 1 は、例えば、火力発電プラントに用いられた蒸気などの高温流体が流れる配管の溶接部の内部欠陥を検出する装置である。この配管の溶接部には、高クロム鋼が用いられる。高クロム鋼とは、例えば 9 ~ 12 モル% のクロムを含むフェライト系の鋼である。すなわち、本実施形態においては、超音波検査装置 1 は、高クロム鋼で形成された部材を検査対象物 100 とし、さらに言えば、配管の溶接部を検査対象物 100 としている。なお、検査対象物 100 は、高クロム鋼であったり、配管の溶接部であったりすることに限られず、後述する内部欠陥 X 1 及び再結晶組織 X 2 が内部に生成する金属部材であればよい。

40

【0025】

検査対象物 100 は、高温及び高圧下に晒されるため、クリープ現象などにより、内部欠陥 X 1 が生じる場合がある。内部欠陥 X 1 は、検査対象物 100 の内部に生じた欠陥であり、本実施形態では、例えば、長さが 2 mm 以上の欠陥（亀裂や空孔などの空洞）である。検査対象物 100 は、この内部欠陥 X 1 が生じることにより、強度が低下する。従って、検査対象物 100 は、例えばプラントの定期検査などで、内部欠陥 X 1 が生じているかの非破壊検査を行う。超音波検査装置 1 は、超音波探傷により、この内部欠陥 X 1 を検出する。

【0026】

図 1 は、本実施形態に係る超音波検査装置の模式図である。図 1 に示すように、超音波検

50

査装置 1 は、探触子 10 と、検出装置 20 とを有する。探触子 10 は、検査対象物 100 の表面に設置され、検査対象物 100 に向けて超音波、すなわち超音波信号 A を送信する。また、探触子 10 は、この超音波信号 A を検査対象物 100 の内部から反射した信号である反射信号 B を受信（検出）する。本実施形態においては、探触子 10 は、アレイ探触子であり、複数設けられている。検出装置 20 は、この探触子 10 の動作を制御し、また、反射信号 B を取得して、内部欠陥 X1 が生じているかを判定する。検出装置 20 の構成については後述する。

#### 【0027】

このように、超音波検査装置 1 は、探触子 10 によって検査対象物 100 に超音波信号 A を照射させ、探触子 10 によって反射信号 B を検出することにより、超音波検査、すなわち超音波探傷を実行する。本実施形態において、超音波検査装置 1 は、フェーズドアレイ法によって、超音波探傷を行う。すなわち、超音波検査装置 1 は、複数の探触子 10 を順番に電子走査（スキャン）して、超音波探傷を実行している。ただし、超音波検査装置 1 の超音波探傷の方法は、これに限られず任意であり、例えば開口合成法を用いてもよい。例えば、開口合成法として、FMC（Full Matrix Capture；フルマトリクスキャプチャ）やTFM（Total Focusing Method；トータルフォーカシングメソッド）で探傷を行ってもよい。また、スキャンの方式も任意であり、例えば扇形に超音波信号 A をスキャンするセクタスキャン、平行に超音波信号 A をスキャンするリニアスキャンなどを用いてもよい。

#### 【0028】

図 2 は、超音波探傷の原理を説明するグラフである。図 2 の横軸は、時間であり、縦軸は、信号の強度である。図 2 に示す信号の波形は、説明のための一例である。図 2 に示すように、時刻  $t_0$  において、探触子 10 から検査対象物 100 に超音波信号 A を照射すると、検査対象物 100 の内部欠陥 X1 の界面で超音波信号 A が反射される。そして、探触子 10 は、この内部欠陥 X1 から反射された反射信号 B を検出する。さらに、探触子 10 は、反射信号 B 以外にも、信号のノイズなども検出する。ただし、内部欠陥 X1 から反射された反射信号 B は、ノイズなどよりも強度が高い。従って、検出装置 20 は、探触子 10 が検出した信号のうち、強度がある程度高い信号を、反射信号 B であると判定する。図 3 の例では、時刻  $t_2$  で検出信号 B a が検出され、時刻  $t_3$  で検出信号 B b が検出される。検出信号 B a は、強度が低いものであるため、検出装置 20 は、反射信号であると判定しない。検出装置 20 は、強度がある程度高い（所定の閾値以上である）検出信号 B b を、反射信号 B と判断する。このように、検出装置 20 は、探触子 10 が検出した検出信号のうち、強度が所定の閾値以上である信号を、反射信号 B として取得する。

#### 【0029】

ここで、検査対象物 100 は、内部に再結晶組織 X2 が析出する場合がある。再結晶組織 X2 は、検査対象物 100 内の周囲の組織と組成が異なる金属組織であり、本実施形態では、例えば - フェライトである。この再結晶組織 X2 は、内部欠陥 X1 と異なり、内部に金属が充填されている組織であるため、内部欠陥 X1 よりも、検査対象物 100 を破損に導くリスクが低い。一方、再結晶組織 X2 は、周囲と組成が異なるため、界面において超音波信号 A を反射する。この再結晶組織 X2 によって反射された信号も、強度がある程度高くなる（所定の強度値である検出閾値以上となる）。従って、検出装置 20 が取得した反射信号 B には、内部欠陥 X1 から反射された反射波に加えて、再結晶組織 X2 から反射された反射波が含まれる場合がある。この場合、取得した反射信号 B が、内部欠陥 X1 からのものか再結晶組織 X2 からのものかを区別することが困難となり、内部欠陥 X1 の検出精度が低下するおそれがある。このような問題に対し、本発明者は、内部欠陥 X1 からの反射波と再結晶組織 X2 からの反射波とを解析することで、それらの特性の違いを発見し、内部欠陥 X1 からの反射波と再結晶組織 X2 からの反射波とを区別する方法を想起した。なお、本実施形態における再結晶組織 X2 の長さは、例えば 2 mm 以上である。

#### 【0030】

発明者は、内部欠陥 X1（すなわち内部の空洞）からの反射波は、ピークの数が比較的少

10

20

30

40

50



なく、さらに周波数毎のスペクトル信号に分解した場合に、スペクトル信号の波形が比較的なだらかであることを発見した。また、発明者は、再結晶組織 X 2（すなわち内部の異組織）からの反射波は、ピークの数が多く、さらに周波数毎のスペクトル信号に分解した場合に、スペクトル信号の曲線が急峻であることを発見した。

#### 【 0 0 3 1 】

本実施形態に係る検出装置 2 0 は、この反射波の特性の差異に基づき、反射信号 B が、内部欠陥 X 1 からのものであるか再結晶組織 X 2 からのものであるかを判断して、超音波探傷における内部欠陥 X 1 の検出精度の低下を抑制している。以下、検出装置 2 0 についてより詳細に説明する。

#### 【 0 0 3 2 】

図 3 は、第 1 実施形態に係る検査装置の模式的なブロック図である。検出装置 2 0 は、本実施形態においては、コンピュータであり、図 3 に示すように、制御部 2 2、入力部 2 4、及び出力部 2 6 を有する。制御部 2 2 は、プロセッサ、ここでは CPU (Central Processing Unit) である。入力部 2 4 は、例えばマウス、キーボード又はタッチパネルなどであり、操作者の入力を受け付け、制御部 2 2 に操作者の入力に応じた制御（動作）を実行させる。出力部 2 6 は、例えばディスプレイやタッチパネルなどであり、制御部 2 2 の動作結果を表示する。制御部 2 2 は、動作結果、ここでは内部欠陥 X 1 を可視化した検査対象物 1 0 0 の画像データを、出力部 2 6 に出力する。出力部 2 6 は、この画像データを表示する。

#### 【 0 0 3 3 】

また、制御部 2 2 は、探触子制御部 3 0 と、反射信号取得部 3 2 と、解析信号生成部 3 3 と、欠陥判定部 3 4 と、出力制御部 3 6 とを有する。探触子制御部 3 0 と反射信号取得部 3 2 と解析信号生成部 3 3 と欠陥判定部 3 4 とは、制御部 2 2、すなわちプロセッサにより動作が実現されるソフトウェアであるが、例えばそれぞれが決められた処理を行う個別のプロセッサやハードウェアであってもよい。

#### 【 0 0 3 4 】

探触子制御部 3 0 は、探触子 1 0 の動作を制御して、探触子 1 0 に超音波信号 A を照射させ、探触子 1 0 に反射信号 B を検出させる。反射信号取得部 3 2 は、探触子 1 0 が検出した反射信号 B を取得する。反射信号取得部 3 2 は、探触子 1 0 が検出した検出信号のうち、強度が所定の検出閾値以上である信号を、反射信号 B として取得する。この反射信号 B は、反射信号 B 1 と反射信号 B 2 とのいずれかである。反射信号 B 1 は、内部欠陥 X 1 からの反射信号であり、反射信号 B 2 は、再結晶組織 X 2 からの反射信号である。ただし、反射信号 B は、内部欠陥 X 1 からの反射信号と再結晶組織 X 2 からの反射信号とが合成された波形の反射信号である場合もある。

#### 【 0 0 3 5 】

解析信号生成部 3 3 は、反射信号取得部 3 2 が取得した反射信号 B を解析して、解析信号 C を生成する。解析信号 C は、反射信号 B を、周波数毎のスペクトル信号 D に分解した信号である。解析信号生成部 3 3 は、反射信号 B の波形に対してフーリエ解析を実行して、解析信号 C の波形を得る。

#### 【 0 0 3 6 】

図 4 は、解析信号の生成を説明する模式図である。図 4 の左側のグラフは、反射信号 B の波形の一例であり、横軸が時間であり、縦軸が信号強度である。図 4 の右側のグラフは、解析信号 C の波形の一例であり、横軸が周波数であり、縦軸が信号強度である。図 4 に示すように、反射信号 B は、時間経過に伴ったピーク P を複数含む波形となる。図 5 に示すように、解析信号 C は、反射信号 B を、周波数毎に複数のスペクトル信号 D に分解した波形となる。それぞれのスペクトル信号 D は、反射信号 B の、ある周波数における強度を示した信号である。スペクトル信号 D は、周波数に対するピークを、1 つだけ有する波形となる。

#### 【 0 0 3 7 】

発明者は、内部欠陥 X 1 起因の反射信号 B 1 から生成した解析信号 C 1 は、スペクトル信

10

20

30

40

50

号 D の数が少ないことを発見した。また、発明者は、解析信号 C 1 に含まれるスペクトル信号 D は、波形がなだらかである、すなわちスペクトル信号 D の幅、よりくわしくは半値全幅 ( F W H M ; Half Width at Half Maximum ) が、比較的大きいことを見出した。また、発明者は、再結晶組織 X 2 起因の反射信号 B 2 から生成した解析信号 C 2 は、スペクトル信号 D の数が多い ( 林状の波形である ) ことを発見した。また、発明者は、解析信号 C 2 に含まれるスペクトル信号 D は、波形が急峻である、すなわちスペクトル信号 D の幅、よりくわしくは半値全幅 ( F W H M ; Half Width at Half Maximum ) が、小さいことを見出した。

#### 【 0 0 3 8 】

図 3 に示す欠陥判定部 3 4 は、反射信号 B のピーク P の数に基づき、その反射信号 B が、内部欠陥 X 1 から反射されたもの ( 反射信号 B 1 ) であるか、再結晶組織 X 2 から反射されたもの ( 反射信号 B 2 ) であるかを判定する。より詳しくは、本実施形態において、欠陥判定部 3 4 は、解析信号 C のデータを取得する。欠陥判定部 3 4 は、解析信号 C に含まれるスペクトル信号 D の数が、所定の閾値 K 0 より少ない場合、その解析信号 C の基となった反射信号 B が、反射信号 B 1 である、すなわち内部欠陥 X 1 に起因すると判定する。また、欠陥判定部 3 4 は、解析信号 C に含まれるスペクトル信号 D の数が、所定の閾値 K 0 以上である場合、その解析信号 C の基となった反射信号 B が、反射信号 B 1 でない、すなわち内部欠陥 X 1 に起因するものでないと判定する。さらに詳しくは、欠陥判定部 3 4 は、解析信号 C に含まれるスペクトル信号 D の数が、所定の閾値 K 0 以上である場合、その解析信号 C の基となった反射信号 B が、反射信号 B 2 である、すなわち再結晶組織 X 2 に起因するものであると判定する。なお、閾値 K 0 は、例えば 3 ( すなわち閾値は信号の数が 3 つ ) であるが、これに限られず、例えば、2 以上 5 以下であってもよい。また、閾値 K 0 は、設定により変更してもよく、例えば、同じ検査のタイミングで取得した複数の解析信号 C のスペクトル信号 D の数に応じて変更してもよい。例えば、複数の解析信号 C のスペクトル信号 D の平均値が、前回の検査や他の検査対象物 1 0 0 の検査での解析信号 C のスペクトル信号 D の平均値より高くなった場合に、閾値 K 0 を大きくし、逆に低くなった場合に、閾値 K 0 を小さくしてもよい。

#### 【 0 0 3 9 】

図 5 は、内部欠陥起因の解析信号の波形の一例を示したグラフである。図 6 は、再結晶組織起因の解析信号の波形の一例を示したグラフである。図 5 に示すように、内部欠陥 X 1 起因の解析信号 C 1 は、図 6 に示す再結晶組織 X 2 起因の解析信号 C 2 よりも、含まれるスペクトル信号 D の数が少ない。図 5 及び図 6 に示すように、本実施形態においては、欠陥判定部 3 4 は、強度閾値 K 1 を設定する。強度閾値 K 1 は、任意の信号強度の値であってもよいが、生成した解析信号 C の最大の強度 ( 解析信号 C 中の、強度が一番高いスペクトル信号 D の強度 ) の値に対して、50 % の値であることが好ましい。また、例えば、強度閾値 K 1 は、生成した解析信号 C の最大の強度 ( すなわち強度が一番高いスペクトル信号 D の強度 ) の値に対して、30 % 以上 70 % 以下であってもよい。

#### 【 0 0 4 0 】

本実施形態においては、欠陥判定部 3 4 は、解析信号 C に含まれるスペクトル信号 D のうち、強度が強度閾値 K 1 以上であるスペクトル信号 D の数が、所定の閾値 K 0 より少ない場合、その解析信号 C の基となった反射信号 B が、反射信号 B 1 であると判定する。また、欠陥判定部 3 4 は、強度が強度閾値 K 1 以上であるスペクトル信号 D の数が、所定の閾値 K 0 以上である場合、その解析信号 C の基となった反射信号 B が、反射信号 B 1 でなく ( 内部欠陥 X 1 に起因するものでなく ) 、反射信号 B 2 である ( 再結晶組織 X 2 に起因するものである ) と判定する。

#### 【 0 0 4 1 】

例えば、図 5 の例では、強度が強度閾値 K 1 以上であるスペクトル信号 D の数は、1 つであり、閾値 K 0 ( 3 つ ) より小さい。従って、欠陥判定部 3 4 は、図 5 の解析信号 C が解析信号 C 1 であり、それに対応する反射信号 B が、内部欠陥 X 1 の反射信号 B 1 であると判断する。また、図 6 の例では、強度が強度閾値 K 1 以上であるスペクトル信号 D の数は

10

20

30

40

50

、 9 つであり、閾値  $K_0$  ( 3 つ ) 以上である。従って、欠陥判定部 3 4 は、図 6 の解析信号 C が解析信号 C 2 であり、それに対応する反射信号 B が、再結晶組織 X 2 の反射信号 B 2 であると判断する。

【 0 0 4 2 】

欠陥判定部 3 4 は、このようにして、反射信号 B が、内部欠陥 X 1 によるものか再結晶組織 X 2 によるものかを区別することで、内部欠陥 X 1 の検出精度の低下を抑制している。

【 0 0 4 3 】

出力制御部 3 6 は、欠陥判定部 3 4 の判定結果を取得して、出力部 2 6 に判定結果を表示させる。出力制御部 3 6 は、反射信号 B に基づき、検査対象物 1 0 0 の画像データを生成し、反射信号 B 1 を反射してきた箇所を、内部欠陥 X 1 として表示させる。この場合、出力制御部 3 6 は、反射信号 B 1 を反射してきた箇所を、内部欠陥 X 1 として、周囲とは異なる輝度の領域として表示させてもよい。また、出力制御部 3 6 は、反射信号 B 2 を反射してきた箇所を、内部欠陥 X 1 として表示させず、例えば内部欠陥 X 1 及び周囲とは異なる再結晶組織 X 2 として ( 異なる輝度で ) 表示させる。また、出力制御部 3 6 は、反射信号 B 2 を反射してきた箇所を、再結晶組織 X 2 として表示させなくてもよく、周囲と同じ輝度で表示させてもよい。

【 0 0 4 4 】

超音波検査装置 1 は、以上説明した構成となっている。以下に、制御部 2 2 による内部欠陥 X 1 の検出フローを説明する。図 7 は、第 1 実施形態に係る内部欠陥の検出フローを説明するフローチャートである。図 7 に示すように、第 1 実施形態において内部欠陥 X 1 を検出する場合、制御部 2 2 は、最初に、探触子制御部 3 0 が、探触子 1 0 を制御して、超音波信号 A を検査対象物 1 0 0 に照射させる ( ステップ S 1 0 ) 。そして、制御部 2 2 は、反射信号取得部 3 2 により、探触子 1 0 が検出した検査対象物 1 0 0 からの反射信号 B を取得する ( ステップ S 1 2 ) 。

【 0 0 4 5 】

反射信号 B を取得したら、制御部 2 2 は、解析信号生成部 3 3 により、解析信号 C を生成する ( ステップ S 1 4 ) 。解析信号 C は、反射信号 B を、周波数毎に複数のスペクトル信号 D に分解した波形信号である。解析信号 C を生成したら、制御部 2 2 は、欠陥判定部 3 4 により、解析信号 C に含まれるスペクトル信号 D の数を算出する ( ステップ S 1 6 ) 。より詳しくは、欠陥判定部 3 4 は、解析信号 C に含まれるスペクトル信号 D のうち、強度が強度閾値  $K_1$  以上であるスペクトル信号 D の数を算出する。欠陥判定部 3 4 は、この算出したスペクトル信号 D の数が、閾値  $K_0$  より小さいか判定し ( ステップ S 1 8 ) 、閾値  $K_0$  より小さい場合 ( ステップ S 1 8 ; Y e s ) 、その解析信号 C に対応する反射信号 B が、内部欠陥 X 1 によるもの、すなわち内部欠陥 X 1 であると判定する ( ステップ S 2 0 ) 。一方、欠陥判定部 3 4 は、算出したスペクトル信号 D の数が、閾値  $K_0$  より小さくない、すなわち閾値  $K_0$  以上であると判定した場合 ( ステップ S 1 8 ; N o ) 、その解析信号 C に対応する反射信号 B が、再結晶組織 X 2 によるもの、すなわち再結晶組織 X 2 であると判定する ( ステップ S 2 2 ) 。ステップ S 2 0 、 S 2 2 において、反射信号 B が内部欠陥 X 1 によるものか再結晶組織 X 2 であるかを判定することにより、本処理は終了する。

【 0 0 4 6 】

本実施形態では、このようにして内部欠陥 X 1 の検出を行う。ただし、本実施形態における制御部 2 2 は、必ずしも図 7 で説明したように内部欠陥 X 1 の検出を行う必要はなく、少なくとも、反射信号 B のピーク P の数に基づき、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであるかを判定すればよい。以下、内部欠陥 X 1 の検出フローの他の例を説明する。

【 0 0 4 7 】

図 8 は、第 1 実施形態に係る内部欠陥の検出フローの他の例を説明するフローチャートである。図 8 に示すように、他の例において、制御部 2 2 は、図 7 の説明と同様に、ステップ S 1 0 、 S 1 2 、 S 1 4 を実行して、解析信号 C を生成する。解析信号 C を生成したら、欠陥判定部 3 4 は、次のようにピークフィッティング処理を行う。すなわち、欠陥判定

10

20

30

40

50

部 3 4 は、解析信号 C のスペクトル信号 D の数を算出し、複数の基準スペクトル信号を生成する（ステップ S 3 0）。基準スペクトル信号は、強度値と幅（半値全幅）とが、予め基準の値に設定された、1 つの強度ピーク値を持つ波形信号である。欠陥判定部 3 4 は、少なくともスペクトル信号 D の数分だけの基準スペクトル信号を生成し、より好適には、スペクトル信号 D の数より 1 つ多い数の基準スペクトル信号を生成する。そして、欠陥判定部 3 4 は、基準スペクトル信号の強度値と半値全幅とを、互いに異なる値にしても互いに共通する値にしてもよい。ただし、欠陥判定部 3 4 は、スペクトル信号 D の数分だけの基準スペクトル信号については、強度値と半値全幅とを互いに共通とし、残った 1 つの基準スペクトル信号については、半値全幅を他より大きくすることが好ましい。また、欠陥判定部 3 4 は、基準スペクトル信号を、ガウス関数としているが、波形はこれに限られず任意であってよく、例えば、ローレンツ関数又はフォークト関数としてもよい。

10

#### 【 0 0 4 8 】

基準スペクトル信号を生成したら、欠陥判定部 3 4 は、基準スペクトル信号のパラメータを調整して、基準スペクトル信号の合成信号を生成する（ステップ S 3 1）。欠陥判定部 3 4 は、基準スペクトル信号のパラメータとして、強度値と幅（半値全幅）との値を調整させる（変化させる）。欠陥判定部 3 4 は、パラメータを調整した基準スペクトル信号を合成して、合成信号を生成する。合成信号は、基準スペクトル信号のピークとなる値を周波数毎に割り当てた上で合成させた信号であり、基準スペクトル信号が周波数毎に配列した波形信号となる。欠陥判定部 3 4 は、この合成信号の各周波数における強度値と幅（半値全幅）とが、解析信号 C に近づくように（より好ましくは一致するように）、基準スペクトル信号のパラメータを調整する。すなわち、欠陥判定部 3 4 は、ステップ S 3 1 において、ピークフィッティング処理を行う。

20

#### 【 0 0 4 9 】

合成信号を生成したら、欠陥判定部 3 4 は、合成信号と解析信号 C との差分が所定値以下であるかを判定する（ステップ S 3 2）。欠陥判定部 3 4 は、各周波数における合成信号と解析信号 C との、強度値と幅（半値全幅）との差分を算出して、その差分が所定値以下であるかを判定する。欠陥判定部 3 4 は、この差分が所定値以下でない場合、すなわち所定値以上である場合は（ステップ S 3 2 ; N o）、ステップ S 3 1 に戻り、差分が所定値以下となるまで、基準スペクトル信号のパラメータの調整を続ける。

#### 【 0 0 5 0 】

30

欠陥判定部 3 4 は、差分が所定値以下である場合は（ステップ S 3 2 ; Y e s）、この合成信号中に、他の基準スペクトル信号よりも幅（半値全幅）が大きい基準スペクトル信号があるかを検出する（ステップ S 3 4）。欠陥判定部 3 4 は、他の基準スペクトル信号よりも幅（半値全幅）が大きい基準スペクトル信号がある場合（ステップ S 3 4 ; Y e s）、その解析信号 C に対応する反射信号 B に、内部欠陥 X 1 によって反射された信号を含む、すなわち内部欠陥 X 1 があると判定する（ステップ S 3 4 ; Y e s）。より詳しくは、欠陥判定部 3 4 は、幅が大きい基準スペクトル信号に対応（一致）するスペクトル信号 D が、内部欠陥 X 1 によって反射された反射信号 B によるスペクトル信号 D であると判定する。また、欠陥判定部 3 4 は、他の基準スペクトル信号よりも幅（半値全幅）が大きい基準スペクトル信号がない場合（ステップ S 3 4 ; N o）、すなわち全ての基準スペクトル信号の幅が等しい場合、その解析信号 C に対応する反射信号 B は、再結晶組織 X 2 によって反射されたものであると判定する（ステップ S 3 4 ; Y e s）。

40

#### 【 0 0 5 1 】

上述のように、内部欠陥 X 1 によるスペクトル信号 D は、幅が大きく、再結晶組織 X 2 によるスペクトル信号 D は、幅が小さい。図 8 の例では、それを利用して、欠陥判定部 3 4 が、各スペクトル信号 D に対応するガウス関数の基準スペクトル信号の合成波形（合成信号）を生成し、その基準スペクトル信号のうち、幅が大きい基準スペクトル信号があるかを判定する。そして、欠陥判定部 3 4 は、幅が大きい基準スペクトル信号がある場合、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 を含むと判定し、幅が大きい基準スペクトル信号が無い場合、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 を含まず、再結晶組織 X 2 のみを含むと判定する。この

50

図 8 の例では、反射信号 B に、内部欠陥 X 1 からのものと再結晶組織 X 2 からのものを含む場合に特に有効である。なお、この図 8 の処理は、解析信号 C のスペクトル信号 D の数に基づき基準スペクトル信号を生成しているため、反射信号 B のピーク P の数に基づき、内部欠陥 X 1 を検出しているといえることができる。

【 0 0 5 2 】

なお、図 8 の例では、ステップ S 4 4 において、幅（半値全幅）が大きい基準スペクトル信号を検出したが、例えば、基準スペクトル信号の幅を全て共通としたまま、合成信号を生成してもよい。この場合、この合成信号と解析信号 C との差分が大きい箇所に対応するスペクトル信号 D を、内部欠陥 X 1 によるものと判定する。

【 0 0 5 3 】

次に、内部欠陥 X 1 の検出の更なる他の例について説明する。図 9 は、第 1 実施形態に係る内部欠陥の検出フローの他の例を説明するフローチャートである。図 9 の例では、解析信号 C を生成せず、反射信号 B のピークを直接利用して、内部欠陥 X 1 を検出する。すなわち、図 9 の例では、解析信号生成部 3 3 を含まなくてもよい。図 9 に示すように、他の例において、制御部 2 2 は、図 7 の説明と同様に、ステップ S 1 0、S 1 2 を実行して、反射信号 B を取得する。反射信号 B を取得したら、制御部 2 2 は、欠陥判定部 3 4 により、反射信号 B を平滑化処理して、平滑化信号 E を生成する（ステップ S 4 0）。

【 0 0 5 4 】

図 1 0 は、平滑化処理の一例を示すグラフである。平滑化処理とは、反射信号 B の波形をなだらかにする処理であり、例えば、反射信号 B の時間毎の強度のピーク値を平均した値に変換する移動平均処理である。ここでの移動平均処理には、例えば単純移動平均、荷重移動平均など、任意の移動平均処理が挙げられる。図 1 0 には、反射信号 B と、その反射信号 B を平滑化処理した平滑化信号 E の一例が記載されている。図 1 0 に示すように、反射信号 B は、複数のピーク P を含むが、平滑化信号 E は、ピーク P が平滑化（平均化）処理されているため、急峻なピーク P が消えている。

【 0 0 5 5 】

図 9 に戻り、平滑化信号 E を生成したら、制御部 2 2 は、欠陥判定部 3 4 により、反射信号 B と平滑化信号 E との差分 S を算出する（ステップ S 4 2）。より詳しくは、制御部 2 2 は、反射信号 B のピーク P の強度値と、そのピーク P と同じ横軸（時間）における平滑化信号 E の強度値との差分 S を算出する。また、欠陥判定部 3 4 は、差分閾値 K 2 を設定している。差分閾値 K 2 は、予め定められた所定の値である。欠陥判定部 3 4 は、差分 S の値が差分閾値 K 2 以上であるかを検出し、差分 S の値が差分閾値 K 2 以上であるピーク P の数が、所定値より少ないかを判定する（ステップ S 4 4）。欠陥判定部 3 4 は、差分 S の値が差分閾値 K 2 以上であるピーク P の数が、所定値より少ない場合（ステップ S 4 4；Yes）、その反射信号 B が、内部欠陥 X 1 によるものと判定する（ステップ S 4 6）。また、欠陥判定部 3 4 は、差分 S の値が差分閾値 K 2 以上であるピーク P の数が、所定値より少なくない、すなわち所定値以上である場合（ステップ S 4 4；No）、その反射信号 B が、再結晶組織 X 2 によるものと判定する（ステップ S 4 8）。なお、このピーク P の数の閾値である所定値は、上述の閾値 K 0（例えば 3 つ）と同じ値であってよい。

【 0 0 5 6 】

図 9 の処理のように、反射信号 B と平滑化信号 E との比較によっても、ピーク P の数に基づき、内部欠陥 X 1 の検出が可能である。

【 0 0 5 7 】

以上説明したように、第 1 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の検出方法は、検査対象物 1 0 0 の内部欠陥 X 1 の検出方法であって、反射信号取得ステップと欠陥判定ステップとを有する。反射信号取得ステップは、反射信号取得部 3 2 により実行され、超音波信号 A が照射された検査対象物 1 0 0 から反射される反射信号 B を取得する。欠陥判定ステップは、欠陥判定部 3 4 により実行され、反射信号 B のピーク P の数に基づき、その反射信号 B が、検査対象物 1 0 0 の内部欠陥 X 1 から反射されたものであるか、検査対象物 1 0 0 の再結晶組織 X 2 から反射されたものであるかを判定する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 8 】

上述のように、反射信号 B には、内部欠陥 X 1 からの反射信号 B 1 と、再結晶組織 X 2 からの反射信号 B 2 とのいずれかが含まれる可能性がある。超音波探傷は、反射信号 B に基づいて行われるが、この反射信号 B が、反射信号 B 1、B 2 のいずれを含むものであるかを区分できない場合、内部欠陥 X 1 の検出精度が低下するおそれがある。しかし、本実施形態に係る検出方法では、反射信号 B 1、B 2 とで、ピーク P の数が異なることに着目し、反射信号 B のピーク P の数に基づき、内部欠陥 X 1 であるか再結晶組織 X 2 であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥 X 1 の検出精度の低下を抑制することが可能となる。

## 【 0 0 5 9 】

また、第 1 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の検出方法は、解析信号生成ステップを更に有する。解析信号生成ステップは、解析信号生成部 3 3 によって実行され、反射信号 B を解析して、反射信号 B を周波数毎のスペクトル信号 D に分解した解析信号 C を生成する。そして、欠陥判定ステップにおいて、解析信号 C に含まれる周波数毎のスペクトル信号 D の数が、所定の閾値 K 0 より少ない場合に、その解析信号 C に対応する反射信号 B が、内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定する。また、欠陥判定ステップにおいて、解析信号 C に含まれる周波数毎のスペクトル信号 D の数が、閾値 K 0 以上である場合に、その解析信号 C に対応する反射信号 B が、検査対象物 1 0 0 の再結晶組織 X 2 から反射されたものであると判定する。この検出方法によると、反射信号 B を周波数毎のスペクトル信号 D に分解する。そして、このスペクトル信号 D の数に基づき、内部欠陥 X 1 であるか再結晶組織 X 2 であるかを判定する。この検出方法によると、スペクトル信号 D の数に基づき検出を行うことで、ピーク数の検出精度を好適に向上させて、内部欠陥 X 1 の検出精度の低下をより好適に抑制することが可能となる。

## 【 0 0 6 0 】

( 第 2 実施形態 )

次に、第 2 実施形態について説明する。第 2 実施形態に係る検出装置 2 0 a は、内部欠陥 X 1 の検出方法が、第 1 実施形態と異なる。第 2 実施形態において第 1 実施形態と構成が共通する箇所は、説明を省略する。

## 【 0 0 6 1 】

図 1 1 は、第 2 実施形態に係る検査装置の模式的なブロック図である。図 1 1 に示すように、第 2 実施形態に係る検出装置 2 0 a は、制御部 2 2 a を有する。制御部 2 2 a は、探触子制御部 3 0 a と、反射信号取得部 3 2 a と、欠陥判定部 3 4 a と、出力制御部 3 6 とを有する。

## 【 0 0 6 2 】

図 1 2 A は、内部欠陥からの反射波の様子を示した模式図であり、図 1 2 B は、再結晶組織からの反射波の様子を示した模式図である。内部欠陥 X 1 は、超音波信号 A を受けた際に、異なる角度に反射波を反射する。同様に、再結晶組織 X 2 も、超音波信号 A を受けた際に、異なる角度に反射波を反射する。発明者は、異なる角度に反射される反射波に着目し、図 1 2 A に示すように、内部欠陥 X 1 が異なる角度に反射した反射波は、強度の値が大きく異なり、図 1 2 B に示すように、再結晶組織 X 2 が異なる角度に反射した反射波は、強度の値があまり異ならないことを発見した。すなわち、発明者は、内部欠陥 X 1 からの反射信号 B 1 は、角度によって強度の異方性が強く、再結晶組織 X 2 からの反射信号 B 2 は、角度によって強度の異方性が弱い ( 等方性を有する ) ことを発見した。本実施形態に係る検出装置 2 0 a は、この反射波の特性の差異に基づき、反射信号 B が、内部欠陥 X 1 からのものであるか再結晶組織 X 2 からのものであるかを判断して、超音波探傷における内部欠陥 X 1 の検出精度の低下を抑制している。

## 【 0 0 6 3 】

具体的には、探触子制御部 3 0 a は、複数の探触子 1 0 のうち、1 つの探触子 1 0 ( 図 1 2 A、図 1 2 B の探触子 1 0 A ) に、超音波信号 A を照射させつつ、複数の探触子 1 0 ( 好ましくは全ての探触子 1 0 ) を、反射信号 B を検出可能な状態とする。これにより、各

10

20

30

40

50

探触子 10 は、1 つの超音波信号 A に対して、異なる角度に反射された反射信号 B を検出する。すなわち、第 2 実施形態においては、FMC や TFM などの開口合成法を用いることが好ましい。図 12A に示すように、超音波信号 A が内部欠陥 X1 に向けて照射されていた場合、各探触子 10 は、内部欠陥 X1 によって互いに異なる角度に反射された反射信号 B1 を検出する。この場合、反射信号 B1 の強度は、探触子 10 毎に大きく異なる。一方、図 12B に示すように、超音波信号 A が再結晶組織 X2 に向けて照射された場合、各探触子 10 は、再結晶組織 X2 によって互いに異なる角度に反射された反射信号 B2 を検出する。この場合、反射信号 B2 の強度は、探触子 10 毎に差異が少ない。

#### 【0064】

そして、反射信号取得部 32a は、各探触子 10 からの反射信号 B を取得することで、1 つの超音波信号 A に対して、互いに異なる角度に反射された複数の反射信号 B を取得する。欠陥判定部 34a は、この複数の反射信号 B 同士の強度を比較し、その強度比に基づき、その反射信号 B が、内部欠陥 X1 から反射されたものであるか再結晶組織 X2 から反射されたものであるかを判定する。さらに詳しくは、欠陥判定部 34a は、所定の強度比閾値 K3 を設定する。欠陥判定部 34a は、この反射信号 B の強度比が強度比閾値 K3 の範囲外である場合、それらの反射信号 B が、内部欠陥 X1 から反射されたものであると判定する。そして、欠陥判定部 34a は、この反射信号 B の強度比が強度比閾値 K3 の範囲内である場合、それらの反射信号 B が、内部欠陥 X1 から反射されたものでなく、再結晶組織 X2 から反射されたものであると判定する。

#### 【0065】

反射信号 B 同士の強度比が強度比閾値 K3 の範囲内であるということは、反射信号 B 同士の強度の差が小さい（異方性が弱い、又は指向性が弱い）ということと言える。この場合、欠陥判定部 34a は、反射信号 B が、内部欠陥 X1 ではなく再結晶組織 X2 によって反射されたものであると判断する。一方、反射信号 B 同士の強度比が強度比閾値 K3 の範囲外であるということは、反射信号 B 同士の強度の差が大き（異方性が強い、又は指向性が強い）ということと言える。この場合、欠陥判定部 34a は、反射信号 B が、内部欠陥 X1 によって反射されたものであると判断する。なお、強度比閾値 K3 は、下限閾値 K3min から上限閾値 K3max までの数値範囲である。ここで、互いに箇所が異なる位置の探触子 10 から検出された反射信号を、それぞれ、反射信号 BL1、BL2 とする。この場合、欠陥判定部 34a は、以下の式（1）を満たす場合に、反射信号 B が、内部欠陥 X1 ではなく再結晶組織 X2 によって反射されたものであると判断する。そして、欠陥判定部 34a は、以下の式（1）を満たさない場合に、反射信号 B が、内部欠陥 X1 によって反射されたものであると判断する。なお、下限閾値 K3min は、例えば 0.5 であり、上限閾値 K3max が 2 であるが、これらは一例であり任意に設定可能である。例えば、下限閾値 K3min は、0.1 以上 1.0 以下であり、上限閾値 K3max は、1.0 以上 10 以下であることが好ましい。

#### 【0066】

$$K3min \leq (BL1 / BL2) \leq K3max \cdots (1)$$

#### 【0067】

また、強度比閾値 K3 を数値範囲でなく 1 つの値とし、以下の式（2）を満たす場合に、反射信号 B が、内部欠陥 X1 によって反射されたものであると判定し、式（2）を満たさない場合に、反射信号 B が、内部欠陥 X1 ではなく再結晶組織 X2 によって反射されたものであると判定してもよい。

#### 【0068】

$$K3 < (BL1 / BL2) \quad \text{ただし、} BL1 \neq BL2 \cdots (2)$$

#### 【0069】

式（2）の場合、強度比閾値 K3 は、上限閾値 K3max と同じ値としてよい。なお、式（1）、（2）においては、2 つの反射信号 B 同士の強度比較のみを行っているが、探触子 10 が 3 つ以上ある場合、例えば全ての反射信号 B 同士の強度比を算出してもよい。この場合、少なくとも 1 つの強度比が強度比閾値 K3 の範囲外である場合には、内部欠陥 X

1 から反射されたものであると判定してもよい。また、強度比のうち、例えば所定数以上の強度比が、強度比閾値 K 3 の範囲外である場合には、内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。この所定数は、例えば 3 つなど任意に設定可能である。

【 0 0 7 0 】

第 2 実施形態に係る検出装置 2 0 a は、以上説明した構成となっている。以下に、制御部 2 2 a による内部欠陥 X 1 の検出フローを説明する。図 1 3 は、第 2 実施形態に係る内部欠陥の検出フローを説明するフローチャートである。図 1 3 に示すように、第 2 実施形態において内部欠陥 X 1 を検出する場合、制御部 2 2 a は、最初に、探触子制御部 3 0 が、1 つの探触子 1 0 に対して、超音波信号 A を検査対象物 1 0 0 に照射させる（ステップ S 7 0 ）。そして、制御部 2 2 は、反射信号取得部 3 2 により、複数の箇所から検出された反射信号 B、すなわち、複数の探触子 1 0 が検出した 1 つの超音波信号 A に対する複数の反射信号 B を取得する（ステップ S 7 2 ）。 10

【 0 0 7 1 】

複数の箇所からの反射信号 B を取得したら、制御部 2 2 は、欠陥判定部 3 4 a により、異なる箇所毎の反射信号 B の強度比を算出する（ステップ S 7 4 ）。すなわち、欠陥判定部 3 4 a は、異なる探触子 1 0 が検出した、同じ超音波信号 A に対する反射信号 B 同士の強度比を算出する。欠陥判定部 3 4 a は、この強度比が強度比閾値 K 3 の範囲外であるかを判断し（ステップ S 7 6 ）、強度比が強度比閾値 K 3 の範囲外である場合（ステップ S 7 6 ; Y e s ）、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定する（ステップ S 7 8 ）。また、欠陥判定部 3 4 a は、強度比が強度比閾値 K 3 の範囲外でない、すなわち強度比が強度比閾値 K 3 の範囲内であると判定した場合（ステップ S 7 6 ; N o ）、その反射信号 B が再結晶組織 X 2 から反射されたものであると判定する（ステップ S 8 0 ）。ステップ S 7 8 、S 8 0 において、反射信号 B が内部欠陥 X 1 によるものか再結晶組織 X 2 であるかを判定することにより、本処理は終了する。 20

【 0 0 7 2 】

以上説明したように、第 2 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の検出方法は、検査対象物 1 0 0 の内部欠陥 X 1 の検出方法であって、反射信号取得ステップと欠陥判定ステップとを有する。反射信号取得ステップは、反射信号取得部 3 2 a により実行され、超音波信号 A が照射された検査対象物 1 0 0 から反射される反射信号 B であって、互いに位置が異なる複数の箇所（探触子 1 0 ）から検出した反射信号 B を取得する。欠陥判定ステップは、欠陥判定部 3 4 a により実行され、箇所毎の反射信号 B 同士の強度比に基づき、反射信号 B が、検査対象物 1 0 0 の内部欠陥 X 1 から反射されたものであるか、再結晶組織 X 2 から反射されたものであるかを判定する。 30

【 0 0 7 3 】

上述のように、反射信号 B には、内部欠陥 X 1 からの反射信号 B 1 と、再結晶組織 X 2 からの反射信号 B 2 とのいずれかが含まれる可能性がある。反射信号 B が反射信号 B 1 、B 2 のいずれを含むものであるかを区分できない場合、内部欠陥 X 1 の検出精度が低下するおそれがある。しかし、本実施形態に係る検出方法では、反射信号 B 1 、B 2 とで、指向性が異なる、すなわち異なる箇所から検出した信号強度が異なることに着目し、異なる箇所での反射信号 B の強度比に基づき、内部欠陥 X 1 であるか再結晶組織 X 2 であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥 X 1 の検出精度の低下を抑制することが可能となる。 40

【 0 0 7 4 】

また、第 2 実施形態に係る検出方法は、欠陥判定ステップにおいて、箇所毎の反射信号 B 同士の強度比が、所定の強度比閾値 K 3 の範囲外である場合に、反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定する。そして、この検出方法は、欠陥判定ステップにおいて、箇所毎の反射信号 B 同士の強度比が、強度比閾値 K 3 の範囲内である場合に、反射信号 B が再結晶組織 X 2 から反射されたものであると判定する。この検出方法は、強度比の大きさに基づき、内部欠陥 X 1 であるか再結晶組織 X 2 であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥 X 1 の検出精度の低下をより好適に抑制すること 50



が可能となる。

【 0 0 7 5 】

なお、この第 2 実施形態に係る検出方法は、第 1 実施形態に係る検出方法と組み合わせてもよい。すなわち、この場合、第 1 実施形態に係る検出方法が、反射信号取得ステップにおいて、互いに位置が異なる複数の箇所から検出した反射信号 B を取得し、欠陥判定ステップにおいて、箇所毎の反射信号 B 同士の強度比にも基づき、反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであるか再結晶組織 X 2 から反射されたものであるかを判定してもよい。この場合、この検出方法は、第 1 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準と第 2 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準との両方を満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。また、例えば、この検出方法は、第 1 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準と第 2 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準との少なくともいずれかを満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。すなわち、この検出方法は、例えば、スペクトル信号 D の数が閾値 K 0 以下であり、かつ、箇所毎の反射信号 B 同士の強度比が強度比閾値 K 3 の範囲外である場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。また、この検出方法は、例えば、スペクトル信号 D の数が閾値 K 0 以下である条件と、箇所毎の反射信号 B 同士の強度比が強度比閾値 K 3 の範囲外である条件との、すくなくともいずれかを満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。

【 0 0 7 6 】

( 第 3 実施形態 )

次に、第 3 実施形態について説明する。第 3 実施形態に係る検出装置 2 0 b は、内部欠陥 X 1 の検出方法が、第 1 実施形態と異なる。第 3 実施形態において第 1 実施形態と構成が共通する箇所は、説明を省略する。

【 0 0 7 7 】

図 1 4 は、第 3 実施形態に係る検査装置の模式的なブロック図である。図 1 4 に示すように、第 3 実施形態に係る検出装置 2 0 b は、制御部 2 2 b を有する。制御部 2 2 b は、探触子制御部 3 0 と、反射信号取得部 3 2 b と、欠陥判定部 3 4 b と、出力制御部 3 6 とを有する。

【 0 0 7 8 】

上述のように、内部欠陥 X 1 及び再結晶組織 X 2 は、超音波信号 A を受けた際に、反射波 ( 反射信号 B 1、B 2 ) を反射する。発明者は、超音波信号 A の出力周波数を変化させると、内部欠陥 X 1 及び再結晶組織 X 2 の反射信号 B 1、B 2 の強度が変化し、その変化の仕方が、反射信号 B 1 と反射信号 B 2 とで異なることを発見した。より詳しくは、発明者は、超音波信号 A が高周波数に変化するに伴い、反射信号 B 1、B 2 の強度が高くなるが、強度が高くなる変曲点が、反射信号 B 1、B 2 とで異なることを発見した。さらに言えば、発明者は、反射信号 B 1 の方が、反射信号 B 2 より低い周波数で反射信号の強度が高くなることを発見した。

【 0 0 7 9 】

図 1 5 は、反射信号の周波数毎の強度の変化を示す模式的なグラフである。発明者は、反射信号 B 1、B 2 が図 1 5 の関係になることを見出した。図 1 5 は、超音波信号 A の周波数を変化させた場合における反射信号 B の周波数毎の強度を示したグラフである。反射信号 B は、基となる超音波信号 A と周波数が一致するため、強度と周波数とは、図 1 5 のような関係となる。すなわち、図 1 5 の横軸は、反射信号 B の周波数であるが、言い換えれば超音波信号 A の周波数であるということもできる。図 1 5 の縦軸は、周波数毎の反射信号 B の最大値の正規化強度である。正規化強度とは、全周波数中の反射信号 B の強度の最大値を 1 に正規化した、周波数毎の反射信号 B の強度の最大値である。曲線 F 1 は、反射信号 B 1 の周波数毎の正規化強度を示し、曲線 F 2 は、反射信号 B 2 の周波数毎の正規化強度を示す。

【 0 0 8 0 】

曲線 F 1 に示すように、反射信号 B 1 の正規化強度は、周波数が 0 MHz から約 5 MHz までにおいて、周波数が上昇するにつれて、0 から大きく上昇する。そして、反射信号 B 1 の正規化強度は、約 5 MHz から約 10 MHz までで上昇率が小さくなりながらも、徐々に上昇し、超音波信号 A の周波数が約 10 MHz から約 20 MHz までにおいては、約 1 とほぼ一定となる。一方、曲線 F 2 に示すように、反射信号 B 2 の正規化強度は、周波数が 0 MHz から約 5 MHz においては、周波数が上昇しても、0 に近い値でほぼ一定となり、言い換えれば変化が小さい。そして、反射信号 B 2 の正規化強度は、超音波信号 A の周波数が約 5 MHz から約 20 MHz までにおいては、約 0 から約 1 まで徐々に上昇する。

#### 【0081】

言い換えれば、超音波信号 A の周波数が 0 MHz から約 5 MHz まで上昇するに従って、反射信号 B 1 の強度は、反射信号 B 2 よりも大きく上昇するが、反射信号 B 2 の強度は、あまり上昇しない。一方、超音波信号 A の周波数が 5 MHz から約 20 MHz まで上昇するに従って、反射信号 B 1 の強度は、あまり上昇せず、反射信号 B 2 の強度は、反射信号 B 2 よりも大きく上昇する。このように、内部欠陥 X 1 は、低周波数の超音波信号 A に対する応答性が高いのに対し、再結晶組織 X 2 は、低周波数の超音波信号 A に対する応答性が、内部欠陥 X 1 より低い。

#### 【0082】

また、ここで、例えば所定の強度閾値である所定値 K 4 を設定する。図 15 の例では、所定値 K 4 は、正規化強度の 0.5 であるが、その値は 0 より大きく 1 より小さければ任意である。この場合、反射信号 B 1 は、約 2 MHz 以上の周波数における強度の最大値が、所定値 K 4 より大きくなる。一方、反射信号 B 2 は、約 12 MHz 以上の周波数における強度の最大値が、所定値 K 4 より大きくなる。言い換えれば、反射信号 B の強度の最大値が所定値 K 4 より大きくなる場合の反射信号 B の周波数を、応答周波数とする。この場合、反射信号 B 1 の応答周波数は、反射信号 B 2 の応答周波数より小さくなり、逆に、反射信号 B 2 の応答周波数は、反射信号 B 1 の応答周波数より小さくなる。

#### 【0083】

制御部 22b は、上記の図 15 のような関係を利用して、内部欠陥 X 1 を検出する。すなわち、図 14 に示す探触子制御部 30a は、探触子 10 に対して、周波数を変化させつつ超音波信号 A を照射させる。探触子制御部 30a は、周波数を変化させている場合でも、探触子 10 に、同じ位置及び同じ強度で超音波信号 A を照射させる（探触子 10 の位置及び強度を固定した状態で、周波数を変化させる）。本実施形態では、探触子制御部 30a は、探触子 10 が、周波数が、例えば 2 MHz から 20 MHz までにわたって、徐々に変化するように、超音波信号 A を照射させる。ただし、探触子制御部 30a は、探触子 10 が、例えば 2 MHz から 20 MHz までの間の周波数値であって、互いに異なる周波数値を有する超音波信号 A を、それぞれ別のタイミングで照射させてもよい。探触子制御部 30a は、探触子 10 に対して、この周波数が変化した超音波信号 A に対する反射信号 B を検出させる。

#### 【0084】

そして、反射信号取得部 32b は、探触子 10 から、周波数が変化した超音波信号 A に対する反射信号 B を取得する。反射信号 B は、超音波信号 A の周波数変化に対応して、周波数が変化した波形となり、また、周波数毎に最大強度が変化する。欠陥判定部 34b は、この反射信号 B の周波数毎の強度の最大値を算出し、周波数毎の反射信号 B の強度の最大値を、所定値 K 4 と比較する。欠陥判定部 34b は、反射信号 B の強度の最大値が、所定値 K 4 以上となった際の反射信号 B の周波数を検出する。欠陥判定部 34b は、反射信号 B の強度の最大値が所定値 K 4 以上となった際の周波数のうちの最小値を、応答周波数として算出する。すなわち、5 MHz 以上の周波数において反射信号 B の強度の最大値が所定値 K 4 以上となった場合、応答周波数は、5 MHz となる。

#### 【0085】

欠陥判定部 34b は、この応答周波数に基づき、反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射され

10

20

30

40

50

たものであるかを判定する。より詳しくは、欠陥判定部 3 4 b は、応答周波数が周波数閾値より小さいかを判定する。欠陥判定部 3 4 b は、応答周波数が周波数閾値より小さい場合、反射信号 B が、内部欠陥 X 1 から反射されたものである（反射信号 B 1 である）と判定する。そして、欠陥判定部 3 4 b は、応答周波数が周波数閾値以上である場合に、反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものでなく（反射信号 B 1 でなく）、反射信号 B が再結晶組織 X 2 から反射されたものである（反射信号 B 2 である）と判定する。周波数閾値は、例えば、5 M H z 以下であることが好ましい。

#### 【 0 0 8 6 】

第 3 実施形態に係る検出装置 2 0 b は、以上説明した構成となっている。以下に、制御部 2 2 b による内部欠陥 X 1 の検出フローを説明する。図 1 6 は、第 3 実施形態に係る内部欠陥の検出フローを説明するフローチャートである。図 1 6 に示すように、第 3 実施形態において内部欠陥 X 1 を検出する場合、制御部 2 2 b は、最初に、探触子制御部 3 0 が、探触子 1 0 に対して、超音波信号 A を、周波数を変化させつつ、検査対象物 1 0 0 に照射させる（ステップ S 9 0）。そして、制御部 2 2 b は、反射信号取得部 3 2 b により、その超音波信号 A に対する反射信号 B を取得する（ステップ S 9 2）。

10

#### 【 0 0 8 7 】

反射信号 B を取得したら、制御部 2 2 b は、欠陥判定部 3 4 b により、反射信号 B の強度が所定値 K 4 以上となった場合の、反射信号 B の周波数（応答周波数）を検出する（ステップ S 9 4）。より詳しくは、欠陥判定部 3 4 b は、反射信号 B の強度の最大値が所定値 K 4 以上となった場合の、周波数の最小値を検出して、その最小値を応答周波数とする。欠陥判定部 3 4 b は、応答周波数が周波数閾値より小さいかを判断し（ステップ S 9 6）、応答周波数が周波数閾値より小さい場合（ステップ S 9 6；Y e s）、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 によるものであると判断する（ステップ S 9 8）。また、欠陥判定部 3 4 b は、応答周波数が周波数閾値より小さくない、すなわち応答周波数が周波数閾値以上である場合（ステップ S 9 6；N o）、その反射信号 B が再結晶組織 X 2 によるものであると判断する（ステップ S 9 9）。ステップ S 9 8、S 9 9 において、反射信号 B が内部欠陥 X 1 によるものか再結晶組織 X 2 であるかを判定することにより、本処理は終了する。

20

#### 【 0 0 8 8 】

以上説明したように、第 3 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の検出方法は、検査対象物 1 0 0 の内部欠陥 X 1 の検出方法であって、反射信号取得ステップと欠陥判定ステップとを有する。反射信号取得ステップは、反射信号取得部 3 2 b により実行され、検査対象物 1 0 0 に周波数を変化させて照射された超音波信号 A に対して、検査対象物 1 0 0 から反射される反射信号 B を取得する。欠陥判定ステップは、欠陥判定部 3 4 b により実行され、反射信号 B の強度が所定値 K 4 以上である場合における反射信号 B の周波数の値である応答周波数に基づき、反射信号 B が、内部欠陥 X 1 から反射されたものであるか再結晶組織 X 2 から反射されたものであるかを判定する。

30

#### 【 0 0 8 9 】

上述のように、反射信号 B には、内部欠陥 X 1 からの反射信号 B 1 と、再結晶組織 X 2 からの反射信号 B 2 とのいずれかが含まれる可能性がある。反射信号 B が反射信号 B 1、B 2 のいずれを含むものであるかを区分できない場合、内部欠陥 X 1 の検出精度が低下するおそれがある。しかし、本実施形態に係る検出方法では、周波数毎の反射信号 B 1、B 2 の応答強度が異なることに着目し、強度が所定値以上となった場合の反射信号 B の周波数（応答周波数）に基づき、内部欠陥 X 1 であるかを再結晶組織 X 2 であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥 X 1 の検出精度の低下を抑制することが可能となる。

40

#### 【 0 0 9 0 】

また、第 3 実施形態に係る検出方法は、欠陥判定ステップにおいて、応答周波数が所定の周波数閾値より小さい場合に、反射信号が検査対象物 1 0 0 の内部欠陥から反射されたものであると判定し、応答周波数が周波数閾値以上である場合に、反射信号が再結晶組織 X 2 から反射されたものであると判定する。この検出方法は、応答周波数の大きさに基づき

50

、内部欠陥 X 1 であるか再結晶組織 X 2 であるかを判定している。従って、この検出方法によると、内部欠陥 X 1 の検出精度の低下をより好適に抑制することが可能となる。

【 0 0 9 1 】

なお、この第 3 実施形態に係る検出方法は、第 1 実施形態に係る検出方法と組み合わせてもよい。すなわち、この場合、第 1 実施形態に係る検出方法が、反射信号取得ステップにおいて、周波数を変化させて照射した超音波信号 A の反射信号 B を取得し、欠陥判定ステップにおいて、反射信号 B の強度が所定値 K 4 以上である場合における応答周波数値にも基づき、反射信号が、内部欠陥 X 1 から反射されたものであるか再結晶組織 X 2 から反射されたものであるかを判定する。この場合、この検出方法は、第 1 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準と第 3 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準との両方を満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。また、例えば、この検出方法は、第 1 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準と第 3 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準との少なくともいずれかを満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。

10

【 0 0 9 2 】

また、この第 3 実施形態に係る検出方法は、第 2 実施形態に係る検出方法と組み合わせてもよい。この場合においても、この検出方法は、第 2 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準と第 3 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準との両方を満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。また、例えば、この検出方法は、第 2 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準と第 3 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準との少なくともいずれかを満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。

20

【 0 0 9 3 】

また、第 1 実施形態、第 2 実施形態、及び第 3 実施形態の全ての検出方法を組み合わせてもよい。この場合においても、この検出方法は、第 1 実施形態から第 3 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準を全て満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。また、例えば、この検出方法は、第 1 実施形態から第 3 実施形態に係る内部欠陥 X 1 の判定基準の少なくともいずれか 1 つ(又は 2 つ)を満たした場合に、その反射信号 B が内部欠陥 X 1 から反射されたものであると判定してもよい。

【 0 0 9 4 】

( 実施例 1 )

次に、実施例 1 について説明する。実施例 1 は、内部欠陥 X 1 と再結晶組織 X 2 との反射信号 B のピークの違いを解析した結果である。実施例 1 においては、内部欠陥 X 1 としての 2 mm の空隙からの反射信号 B 1 a を実測し、その反射信号 B 1 a に対する解析信号 C 1 a を生成した。また、内部欠陥 X 1 としての亀裂からの反射信号 B 1 b を実測し、その反射信号 B 1 b に対する解析信号 C 1 b を生成した。また、再結晶組織 X 2 からの反射信号 B 2 a を実測し、その反射信号 B 2 a に対する解析信号 C 2 a を生成した。

30

【 0 0 9 5 】

図 1 7 A は、空隙からの反射信号と解析信号の波形を示す図である。図 1 7 B は、亀裂からの反射信号と解析信号の波形を示す図である。図 1 7 C は、再結晶組織からの反射信号と解析信号の波形を示す図である。図 1 7 A 及び図 1 7 B に示すように、反射信号 B 1 a 、 B 1 b は、ピークの数、図 1 7 C に示す反射信号 B 2 a のピークの数よりも少ない。また、解析信号 C 1 a 、 C 1 b は、スペクトル信号の数、解析信号 C 2 a より少なく、曲線が解析信号 C 2 a よりなだらかであることがわかる。実施例 1 により、第 1 実施形態による検出方法によると、内部欠陥 X 1 と再結晶組織 X 2 とを適切に区分できることが分かる。

40

【 0 0 9 6 】

( 実施例 2 )

次に、実施例 2 について説明する。実施例 2 においては、反射信号 B 1 、 B 2 の周波数にローパスフィルタを掛けて、周波数範囲毎の反射信号 B 1 、 B 2 の波形を検出した結果で

50

ある。図 18 は、内部欠陥による反射信号の周波数範囲毎の波形を示すグラフであり、図 19 は、再結晶組織による反射信号の周波数範囲毎の波形を示すグラフである。図 18 及び図 19 では、2 MHz 以下、5 MHz 以下、10 MHz 以下、15 MHz 以下の周波数範囲における反射信号 B1、B2 の波形を示している。図 18 に示すように、内部欠陥 X1 による反射信号 B1 は、10 MHz までに強度が大きくなっているが、再結晶組織 X2 による反射信号 B2 は、10 MHz まではあまり強度が大きくならずに、15 MHz で強度が大きくなっていることが分かる。実施例 2 により、第 3 実施形態による検出方法によると、内部欠陥 X1 と再結晶組織 X2 とを適切に区分できることが分かる。

【0097】

以上、本発明の実施形態を説明したが、この実施形態の内容により実施形態が限定されるものではない。また、前述した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。さらに、前述した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。さらに、前述した実施形態の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換又は変更を行うことができる。

【符号の説明】

【0098】

1 超音波検査装置

10 探触子

20 検出装置

22 制御部

30 探触子制御部

32 反射信号取得部

33 解析信号生成部

34 欠陥判定部

36 出力制御部

100 検査対象物

A 超音波信号

B 反射信号

C 解析信号

D スペクトル信号

X1 内部欠陥

X2 再結晶組織

10

20

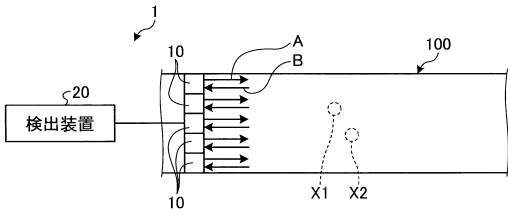
30

40

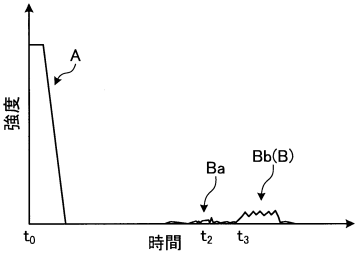
50

【図面】

【図 1】

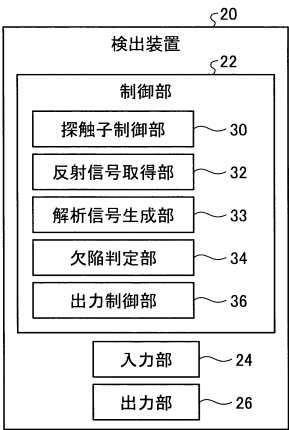


【図 2】

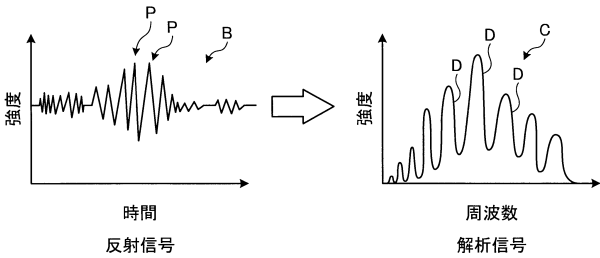


10

【図 3】



【図 4】



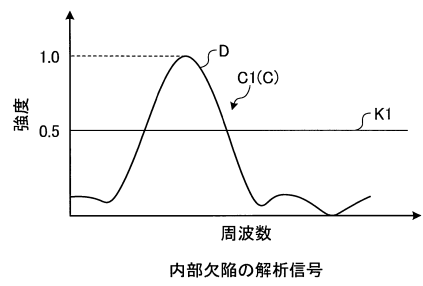
20

30

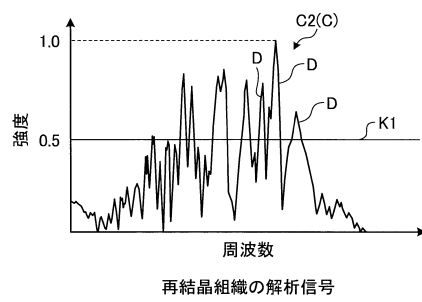
40

50

【 図 5 】



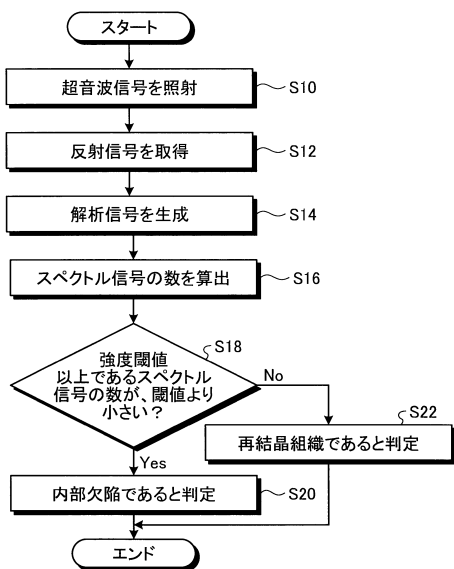
【 図 6 】



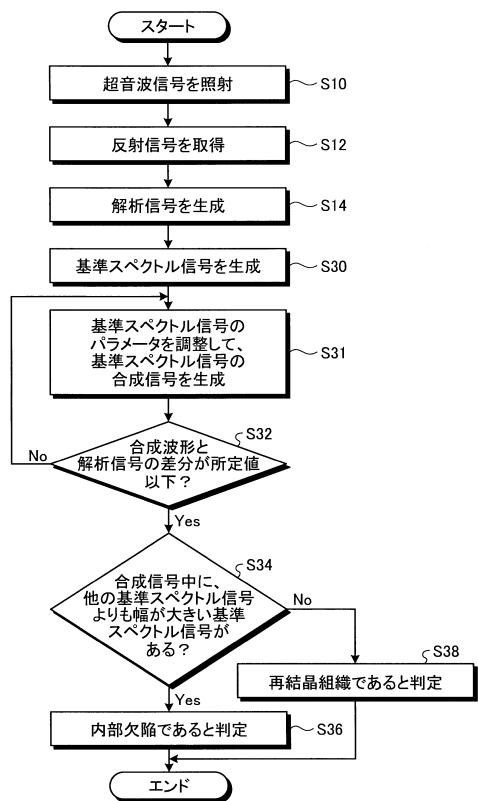
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

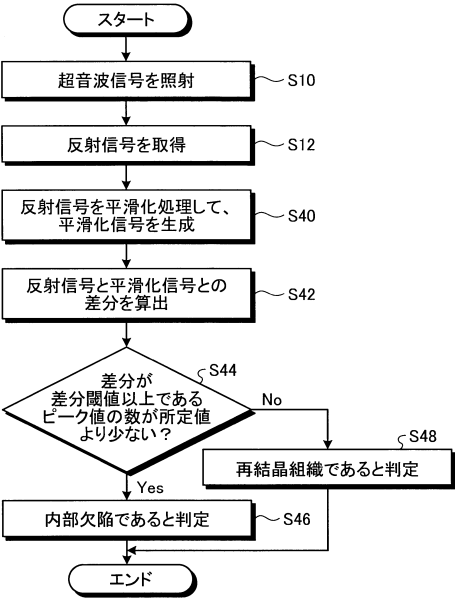


30

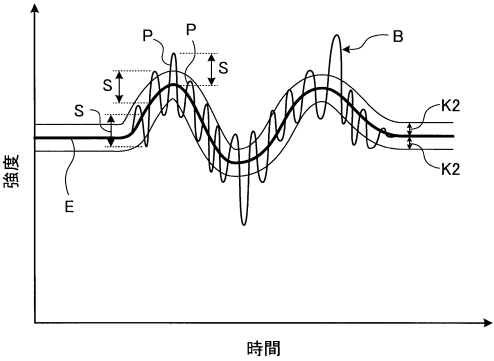
40

50

【図 9】



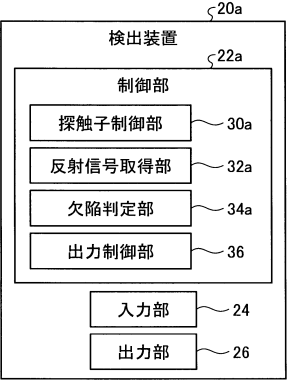
【図 1 0】



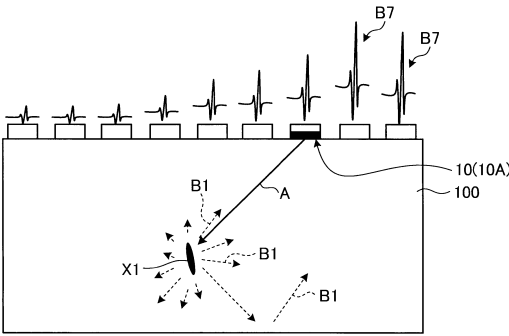
10

20

【図 1 1】



【図 1 2 A】



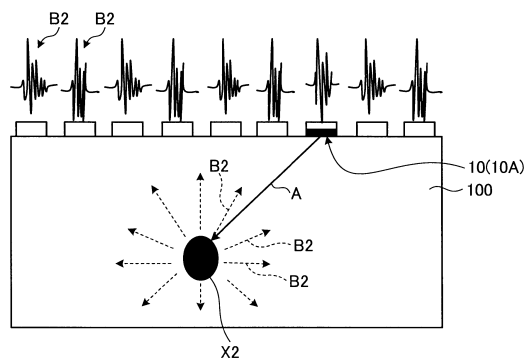
30

40

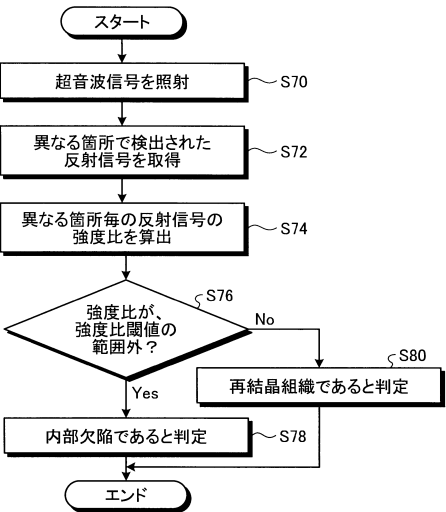
50



【図 1 2 B】



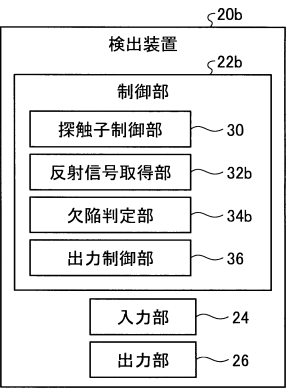
【図 1 3】



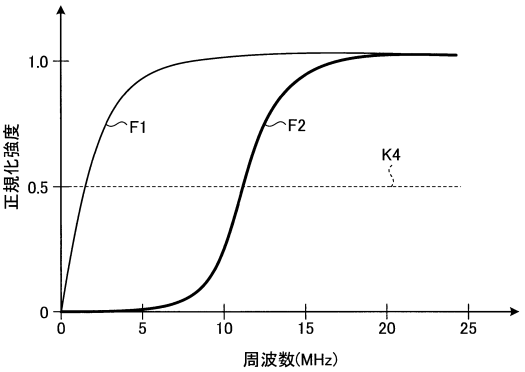
10

20

【図 1 4】



【図 1 5】

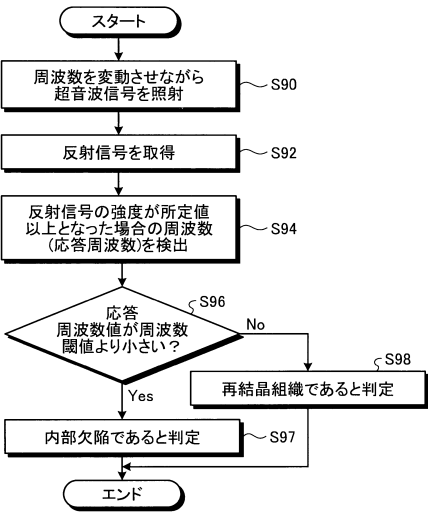


30

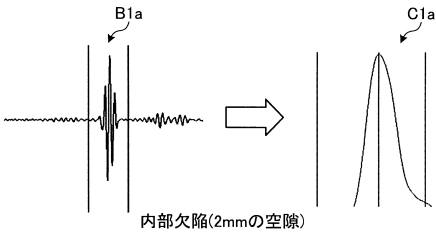
40

50

【図 1 6】



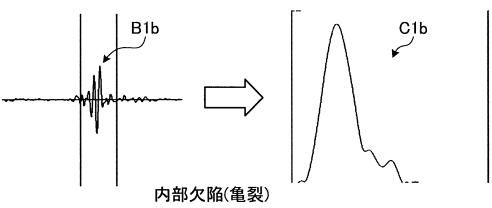
【図 1 7 A】



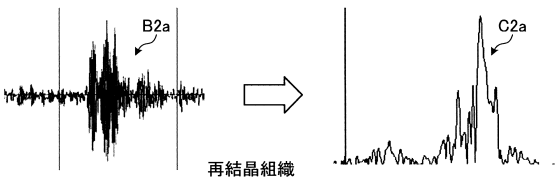
10

20

【図 1 7 B】



【図 1 7 C】

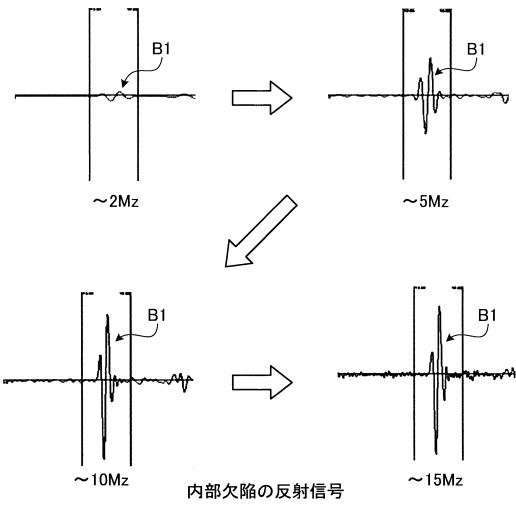


30

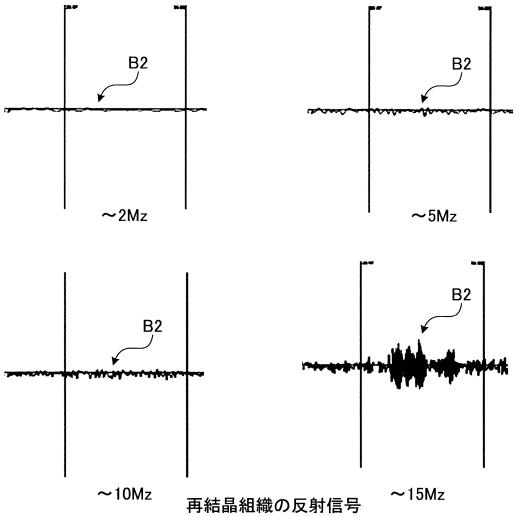
40

50

【図 18】



【図 19】



10

20

30

40

50

(56)参考文献

特開平 0 6 - 3 3 7 2 6 2 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 3 4 3 3 7 0 ( J P , A )  
特開昭 6 1 - 0 2 5 0 5 7 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 0 9 5 8 7 0 ( J P , A )  
特開昭 6 0 - 0 9 3 9 5 5 ( J P , A )  
米国特許第 0 4 6 9 9 0 0 7 ( U S , A )

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)  
I P C  
G 0 1 N 2 9 / 0 0 - G 0 1 N 2 9 / 5 2