

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6765382号
(P6765382)

(45) 発行日 令和2年10月7日(2020.10.7)

(24) 登録日 令和2年9月17日(2020.9.17)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 N 29/30	(2006.01)	GO 1 N	29/30
GO 1 N 29/48	(2006.01)	GO 1 N	29/48
GO 1 N 29/44	(2006.01)	GO 1 N	29/44

請求項の数 13 (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2017-551223 (P2017-551223)	(73) 特許権者	508362664
(86) (22) 出願日	平成28年3月25日 (2016. 3. 25)		ヴァルレック チューブ フランス
(65) 公表番号	特表2018-510352 (P2018-510352A)		フランス国、F-92100 ブローニユ
(43) 公表日	平成30年4月12日 (2018. 4. 12)		ービヤンクール、アヴェニュー・ドゥ・ジ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2016/056698		ェネラル・レクレール、27
(87) 国際公開番号	W02016/156262	(74) 代理人	110002066
(87) 国際公開日	平成28年10月6日 (2016. 10. 6)		特許業務法人筒井国際特許事務所
審査請求日	平成31年2月28日 (2019. 2. 28)	(72) 発明者	ノエル, アレクサンドル
(31) 優先権主張番号	1552770		フランス国, 59144 ゴムニー, リュ
(32) 優先日	平成27年3月31日 (2015. 3. 31)		ドゥ サルロトン 600
(33) 優先権主張国・地域又は機関	フランス (FR)	審査官	横尾 雅一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 冶金製品の検査装置の較正用のモジュールおよび較正方法ならびにコンピュータプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

冶金製品(3)の検査装置の較正用のモジュールであって、
 値/角度の対の形でデータを記憶することができ、各対が前記角度に対応する前記冶金製品の方向への超音波検査に対する応答の振幅に対応するメモリ(33)と、
 前記記憶されたデータに対して処理機能(35)を実行可能な計算機と、を備え、
 前記データは、
 前記冶金製品に配置された多指向性反射体(27)に関わる第1の組のデータ(39)であって、前記第1の組の対は、前記多指向性反射体(27)の作用方向の少なくとも幾つかに沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応する第1の組のデータ(39)と、
 前記冶金製品に配置された指向性反射体(13; 15; 21; 25)に関わる第2の組のデータ(37)であって、前記第2の組のデータは、前記指向性反射体に対して、前記指向性反射体の一つの作用方向に沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応する少なくとも一つの対を備える第2の組のデータ(37)と、に編成され、
 前記処理機能(35)は、前記第1の組のデータと前記第2の組のデータの対の補間によって第3の組のデータ(40)を確立するように構成され、前記第3の組の対は、前記多指向性反射体(27)の作用方向の少なくとも幾つかに沿う超音波検査に対する基準振幅に対応することを特徴とするモジュール。

【請求項2】

前記第2の組のデータ(37)は、前記冶金製品(3)に配置された幾つかの指向性反

射体（13；15；21；25）に関連し、前記第2の組のデータ（27）は、各指向性反射体（13；15；21；25）に対して、この指向性反射体の一つの作用方向に沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応する少なくとも一対を備える、請求項1に記載のモジュール。

【請求項3】

前記処理機能（35）は、夫々の角度が前記多指向性反射体（27）の作用方向に対応し、且つ夫々の振幅値が前記第1の組のデータ（39）に対応する対の値から計算され、前記第2の組のデータ（37）に対する一つ以上の対を確立するように構成される、請求項1または2に記載のモジュール。

【請求項4】

前記第3の組のデータ（40）の前記振幅値の少なくとも幾つかは、比較振幅値の補間によって計算され、前記第1の組のデータ（39）の対の値および前記第2の組のデータ（37）の対の振幅値は、相互に対応する角度を有する、請求項1～3の何れか1項に記載のモジュール。

【請求項5】

前記補間は、線形回帰に関わる、請求項1～4の何れか1項に記載のモジュール。

【請求項6】

前記処理機能（35）は、前記第1の組のデータ（39）の値/角度の各対に対する前記第3の組のデータ（40）の値/角度の対を確立するように構成され、前記第3の組のデータ（40）の対の角度と前記第1の組のデータ（39）の対の角度は互いに対応する、請求項1～5の何れか1項に記載のモジュール。

【請求項7】

前記多指向性反射体（27）は、前記冶金製品中の規則的形狀の穿孔よりなる、請求項1～6の何れか1項に記載のモジュール。

【請求項8】

各指向性反射体（13；15；21；25）は、標準化された切り欠きよりなる、請求項1～7の何れか1項に記載のモジュール。

【請求項9】

前記処理機能（35）は、角度が相互に対称的方向に対応する対の振幅値から平均振幅を確立するように構成された統計機能をさらに備え、且つ前記処理機能（35）は、前記第1の組のデータ（39）と前記第2の組のデータ（37）の少なくとも一方のデータを有する統計機能と呼び出す、請求項1～8の何れか1項に記載のモジュール。

【請求項10】

前記処理機能（35）は、前記補間に先立って前記統計機能と呼び出す、請求項9に記載のモジュール。

【請求項11】

前記処理機能（35）は、指向性反射体（13；15；21；25）の特徴的振幅値を確立するために、前記冶金製品において互いに対して同様に向けられた連続する超音波検査から生じる前記指向性反射体（13；15；21；25）の応答の振幅に対応する一群の値に働きかけることができる抽出機能を備え、この特徴的値は閾値として確立され、この閾値を越える少なくとも二つの連続する振幅値を得ることが可能な、請求項1～10の何れか1項に記載のモジュール。

【請求項12】

冶金製品（3）のための検査装置の較正方法であって、前記方法は、以下のステップ：

値/角度の対の形で第1の組のデータ（39）を保存するステップであって、前記第1の組のデータは、前記冶金製品（3）に配置された多指向性反射体（27）に関連し、前記第1の組のデータの値/角度の対は、前記角度に対応する前記多指向性反射体（27）の作用方向の少なくとも幾つかに沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応するステップと、

値/角度の対の形で第2の組のデータ（37）を保存するステップであって、前記第

10

20

30

40

50

2の組のデータは、前記冶金製品に配置された指向性反射体(13; 15; 21; 25)に関連し、前記第2の組のデータは、前記指向性反射体に対して、前記角度に対応する前記指向性反射体の一つの作用方向に沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応する少なくとも一つの値/角度の対を備えるステップと、

前記第1の組のデータと前記第2の組のデータの対の補間によって値/角度の対の形で第3の組のデータ(40)を確立するステップであって、前記第3の組の対は、前記多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに沿う超音波検査に対する基準振幅に対応するステップと、を含むことを特徴とする方法。

【請求項13】

請求項1~11の何れか1項に記載のモジュールを構成するために、計算ユニットと協働できるコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冶金製品、特に典型的には数メートルと数十メートルの間のかんりの長さの断面の非破壊検査の分野に関する。

【背景技術】

【0002】

本発明をより良く理解するために、本発明は、冶金製品の一例として、略管状の製品、特にパイプに関連して記述される。しかしながら、本発明は、より広い用途を有することが意図されている。

【0003】

長いパイプは、広く使用されている。用途の領域として、例えば所謂“ボイラ”パイプを使用する電力生産、穿設、抽出および搬送のためのパイプ(“ラインパイプ”)を使用する石油およびガス、または土木工学であれ自動車産業および航空機産業であれ機械的構造が挙げられる。

【0004】

冶金製品の大部分のように、パイプは、例えばスチールにおける物質の含有や物質の不存在のようなパイプ製造に関連する欠点を有する傾向がある。一般的に、スチール母材の異成分は、使用中のパイプの機械強度を減じる傾向がある不完全箇所として見られている。

【0005】

したがって、金属パイプの欠陥を検査するのみならず、欠陥がある場合、これらの欠陥の危険レベル、特に、それらのサイズ、それらの深さ、それらの位置、それらの性質、またはそれらの向きを評価するために有用な情報を決定するために、金属パイプの製造の直後にそれらの金属パイプを検査している。

【0006】

多数のパイプを製造するとき、最も確実な方法で最大数のパイプを検査することが望ましい。本出願人と同様に、本産業の一部の作業者は、製造されたパイプの各々を個別にチェックしている。

【0007】

したがって、パイプの検査は、その他のより典型的な段階、特に成形と同様に、パイプの製造における一段階である。

【0008】

それらの段階が生産の規則的反復に影響を及ぼすために、用いられる検査方法は、信頼性を保ちながら、経済的で且つ迅速でなければならない。実質的に自動的な検査方法が求められている。

【0009】

特に、超音波を含む検査技術が使用される。超音波は、検査されるパイプ内を伝搬し、結果として生じるエコーの中でそのパイプの幾何学形状に関連しないものが探される。材

10

20

30

40

50

料の含有や材料の不存在は、超音波の伝搬の媒体内で変動となり、したがって、超音波と衝突するときにエコーを発生する。これらの変動は、不完全箇所として見られ得る。

【 0 0 1 0 】

不完全箇所によって生成されたエコーの強度は、超音波がその欠陥に衝突する角度に依存している。パイプ中の超音波の伝搬の一つの方向に対して、対応するような向き、すなわち伝搬の方向に対して垂直な向きの不完全箇所を主に検出するが、約1度や2度の特定の許容範囲を有している。

【 0 0 1 1 】

実際に、不完全箇所は、完全には長手方向または横断方向ではないが、これらの方向の一方または他方に多かれ少なかれ重要なエコーを送出する。不完全箇所の向きは、反射の最大表面に例えることができる。

10

【 0 0 1 2 】

閾値よりも大きな振幅のエコーを戻す不完全箇所は、欠陥として知られている。向きの値がこの欠陥と関連付けられ、それは検査方向から推測され得る。

【 0 0 1 3 】

例えば当該技術において、対応する向きのショットに応答して事前定義された値よりも大きな振幅を有するエコーを発生する何らかの不完全箇所は、長手方向欠陥と呼ばれる。この閾値は、較正によって設定される。旧来、参照欠陥、すなわち標準の欠陥として、既知で最も頻繁に標準化された位置（深さと向き）および寸法の切り欠きが使用され、これらは、サンプルパイプに作られている。

20

【 0 0 1 4 】

検査の期間は、超音波がパイプ中を前後に移動するために必要な時間、およびある程度は、記録された戻り信号の処理のための時間に主に依存する。

【 0 0 1 5 】

生産規則的反复と安全性の必要性を両立するために、超音波ショットの数を制限し、且つ各パイプのある特定の向きを有する欠陥を探すだけが慣例となっていた。

【 0 0 1 6 】

典型的には、最も頻繁に起こる欠陥、一般的には、パイプの母線に平行な向きの欠陥を検出することが望まれている。

【 0 0 1 7 】

30

当該技術における最近の発展は、許容検査の規則的反复を維持するためにショットの数を制限したまま、異なる向きの欠陥の検出をさらに可能とする検査方法を含んでいる。

【 0 0 1 8 】

例えば国際公開公報 WO 2 0 0 3 / 5 0 5 2 7 から“位相化”アレイタイプの一次元センサが使用される冶金製品のための非破壊検査レイアウトが知られている。各トランスデューサ要素は、一度励起され、次に、処理回路は、当該技術で“ショット”として知られているこの一回の放射に対してパイプの全体の応答を解析する。パイプの横断方向において実行されたショットに基づいて、この方向に対して垂直に配置された欠陥のみならず + 2 0 ° ~ - 2 0 ° の間のこの垂直な方向に対する傾斜を有する欠陥の存在が決定され得る。

40

【 0 0 1 9 】

実際に、三個のセンサ、すなわち長手方向に向いた欠陥の検出に充てられ、且つこの長手方向に対して + 2 0 ° ~ - 2 0 ° の間の傾きを有する二個のセンサとパイプに対して横断方向に向いた欠陥を検出するため、および/またはこのパイプの厚みを測定するための一個の追加のセンサが使用される。

【 0 0 2 0 】

本出願人名義の仏国公開公報 FR 3 0 0 0 2 1 2 から冶金製品内の任意の向きの欠陥を検出することによって冶金製品を検査できる超音波検査装置も知られている。当該装置は、良好な検査の規則的反复を維持できる励起回数が少ない単一のセンサを使用している。

【 0 0 2 1 】

50

特に、この単一のセンサと限られた数のショットによって、“周囲欠陥”としても知られる横断方向欠陥、すなわちパイプの母線に対して垂直に延在する欠陥、この母線に沿って延在する長手方向欠陥と、検査中のパイプの母線に対して任意の所与の角度をなす欠陥が検出できる。生産性と信頼性の増大は、明白である。

【0022】

複数の向きまたは任意の所与の向きの欠陥の存在についてのパイプの検査は、全ての可能な向きを網羅するために互いに異なる夫々の方向に沿って伝搬する超音波に対するパイプの応答の調査を含んでいる。

【0023】

これによって、少なくとも、閾値が、一般的には同じ方向である、検査された各方向に対して調整されなければならないので、検査装置の較正が非常に複雑になる。

10

【0024】

サンプルのパイプに作られるべき標準の欠陥、すなわち切り欠きの数は、検査される方向の数に直接に依存し、これらの方向に対して対称性がない場合、理論的には、検査される方向と同数の切り欠きを有することが必要であるが、相互に対称的な検査方向によって、単一の切り欠きを使用して二つの検査方向に沿って検査装置を較正することが可能になる。

【0025】

しかしながら、パイプを検査して任意の所与の向きの欠陥を見つけるには、現在、多くの切り欠きを有するサンプルパイプを要し、それが製造を困難なものにし、高価なものにしてしている。一例として、今日では、72個の切り欠き、すなわちパイプの母線に対して規則的に傾いたパイプの外表面上の36個の切り欠きと、パイプの内表面上の同じ数の切り欠きを有するサンプルパイプを使用している。さらに、特に、例えば切り欠きに対するセンサの配置のような手作業が必要であるために、切り欠きが多いほど、較正は長く且つ複雑である。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0026】

本発明は、この状況を改善することを提案している。

【課題を解決するための手段】

30

【0027】

本発明の一態様は、冶金製品の検査装置の較正を支援するモジュールであって、値/角度の対の形でデータを記憶することができ、各対が前記角度に対応する前記冶金製品の方向への超音波検査に対する応答の振幅に対応するメモリと、前記記憶されたデータに対して処理機能を実行可能な計算機と、を備え、前記データは、前記冶金製品に配置された多指向性反射体に関わる第1の組のデータであって、前記第1の組の対は、前記多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応する第1の組のデータと、前記冶金製品に配置された指向性反射体に関わる第2の組のデータであって、前記第2の組のデータは、前記指向性反射体に対して前記反射体の一つの作用方向に沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応する少なくとも一つの対を備える第2の組のデータと、に編成され、前記処理機能は、前記第1の組のデータと前記第2の組のデータの対の補間によって第3の組のデータを確立するように配置され、前記第3の組の対は、前記多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに沿う超音波検査に対する標準の振幅に対応する。

40

【0028】

ここで提案されたモジュールは、多指向性反射体上でおよび一個以上の指向性反射体上で実行される超音波検査のために測定されるデータを利用する。このモジュールは、較正対象の方向の数より少ない数の指向性反射体を使用し、指向性反射体の任意の作用方向にも対応しない検査方向は、対応する作用方向に対して、多指向性反射体で測定された振幅の助けを借りて較正される。これによって、幾何学的特徴が明細書の主題であり得る標準

50

の欠陥として指向性反射体、特に切り欠きを使用するとともに、それらの反射体の数を同様に減少することが可能になる。これによって、複数の検査方向を較正するために、一個以上の標準の欠陥をパイプにおけるそれらの向きに関係なく使用することが可能となる。

【0029】

本発明の他の態様は、冶金製品のための検査装置の較正を支援する方法であって、前記方法は、値/角度の対の形で第1の組のデータを保存するステップであって、前記第1の組のデータは、前記冶金製品に配置された多指向性反射体に関連し、前記第1の組のデータの値/角度の対は、前記角度に対応する前記多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応するステップと、値/角度の対の形で第2の組のデータを保存するステップであって、前記第2の組のデータは、前記冶金製品に配置された指向性反射体に関連し、前記第2の組のデータは、前記指向性反射体に対して、前記角度に対応する前記反射体の一つの作用方向に沿う超音波検査に対する応答の振幅に対応する少なくとも一つの値/角度の対を備えるステップと、前記第1の組のデータと前記第2の組のデータの対の補間によって値/角度の対の形で第3の組のデータを確立するステップであって、前記第3の組の対は、前記多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに沿う超音波検査に対する標準の振幅に対応するステップと、を含む。

10

【0030】

最後に、上記提案されたモジュールを構成するために計算ユニットと協働できるコンピュータプログラムモジュールを提案する。

【図面の簡単な説明】

20

【0031】

本発明の他の特徴および利点は、以下の詳細な説明および添付図面から明らかになる。

【図1】冶金製品のための検査レイアウトの正面図である。

【図2】冶金製品のための検査レイアウトの側面図である。

【図3】上から見たサンプルパイプの第1のタイプの標準の欠陥を示す図である。

【図4】サンプルパイプの第2のタイプの標準の欠陥の平面図である。

【図5】サンプルパイプの第2のタイプの標準の欠陥のV-V線に沿う断面図である。

【図6】冶金製品のための検査装置の較正を支援するモジュールの概略図である。

【図7】図6のモジュールで使用され得る較正機能を説明するフローチャートである。

【図8】図6のモジュールで使用され得る統計的処理機能を説明するフローチャートである。

30

【図9】図6のモジュールで使用され得る比較機能を説明するフローチャートである。

【図10】図6のモジュールで使用され得る補間機能を説明するフローチャートである。

【図11】図10に類似し、且つ他のシミュレーション機能を説明するフローチャートである。

【図12】図6のモジュールで使用され得る変換機能を説明するフローチャートである。

【図13】図6のモジュールで使用され得る抽出機能を説明するフローチャートである。

【図14】図6のモジュールの信頼性を説明するグラフである。

【図15】図14に類似したグラフである。

【発明を実施するための形態】

40

【0032】

図面および添付は、限定的な属性の要素を含んでいる。したがって、これらは説明のためだけでなく、必要に応じて本発明の定義のために使用される場合がある。

【0033】

ここでは、図1と図2を参照する。

【0034】

超音波を使用する検査レイアウトは、検査対象の金属パイプ3を支持する作業台1と、そのパイプ3の周表面に対して配置され、且つ制御および処理電子機器6に接続される超音波センサ5と、を備えている。超音波センサ5は、当該技術では“トランスデューサ”と呼ばれる場合がある。

50

【0035】

検査のために、センサ5とパイプ3は、相対的らせん状変位状態にある。ここでは、パイプ3は、パイプ3の長手軸に対して軸周りにらせん状移動で作業台1に対して変位され、他方、センサ5は、作業台1に対してその位置に維持される。作業台1は、パイプ3の長手軸に対して傾いた回転可能ローラが装備され得る。

【0036】

変形例として、パイプ3は、作業台1に対してのみの回転移動が提供され、他方、センサ5は、作業台1の長手方向にスライドする。センサ5は、作業台1に対して移動することができる運搬車に取り付けられてもよい。さらに他の変形では、センサ5は、パイプ3周りに回転でき、他方、パイプ3は、作業台1に対して並進される。

10

【0037】

センサ5とパイプ3の間の相対的らせん状移動によって、パイプ3の円周に比較してサイズが減らされたセンサ5を用いてパイプ3全体を検査することが可能となる。代替として、パイプ3周りに王冠状に配置されたより多数のセンサが提供され、パイプ3がセンサ5に対してスライドするときの範囲を保証するショットシーケンスを確実にする。

【0038】

連結媒体、すなわち当該技術における“カプラント”は、例えばジェル状で、センサ5とパイプ3の周表面の間に配置され得る。一変形例では、このレイアウトは、パイプ3とセンサ5が浸漬される水または任意の他の液体連結媒体が充填されたボックスを含んでもよい。

20

【0039】

このレイアウトは、互いに異なる向きを有する、特に任意の所与の向きを有する欠陥の存在を検証するためにパイプ3を検査することが意図されている。検査方向は、発見対象の欠陥の、パイプ3中の向きに対応している。

【0040】

異なる検査方向に沿ってパイプ3を検査するために、数回の超音波ショットが実行でき、各超音波ショットは、センサ5を用いて、主に検査方向に対応する方向に沿ってパイプ3内に伝搬される超音波を発生することにある。仏国特許出願FR3000212に記載されたタイプの装置が使用でき、その装置によって単一の超音波ショットで幾つかの異なる方向に沿ってパイプを検査することが可能になる。

30

【0041】

パイプ3の応答において、欠陥から生じるエコーと不完全箇所から生じるエコーを区別できるように、検査レイアウトは、各検査方向に対して較正されなければならない。

【0042】

例えば、そのレイアウトは、360°にわたって規則的に分布した72個の方向を検査することによって、任意の所与の向きの欠陥の存在についてパイプ3を検査することを意図し、これらの検査方向は、5°のステップ角で互いに対して傾いている。

【0043】

ここでは、図3～図5を参照する。

【0044】

図1および図2に関して記載されたタイプのような、超音波を使用する冶金製品用の検査レイアウトを較正するために、サンプル製品、すなわち参照製品、ここでは、検査される製品の検査の観点からパイプのレイアウトを使用する。例えばサンプルパイプは、図1および図2に関連して記載されたパイプ3の代りになる。

40

【0045】

サンプルパイプは、パイプモデルに類似の直径と厚みの値を有している。サンプルパイプは、さらに、典型的には、スチール種または同じスチール種群に属するスチール種の、そのモデルパイプの材料と同じ材料、または少なくともそれに類似の材料から作ることができる。一般的には、パイプモデルは、パイプの材料およびパイプが受ける熱処理が適合された特定の用途を意図している。特に、サンプルパイプは、EN ISO 10893

50

- 10の“参照チューブ(Reference tube)”と題するセクション6、特に、セクション6.1.3および6.1.4等に述べられた条件を検証する。

【0046】

実際、典型的には、各用途につき少なくとも一つのサンプルパイプが提供される。

【0047】

サンプルパイプは、参照番号7によって全体的に指定された第1のタイプの細長い切り欠き、すなわち第1の切り欠きを備えている。この細長い切り欠き7は、サンプルパイプの外表面9(外側切り欠き)または内表面10(内側切り欠き)からサンプルパイプの壁に作られる。第1の切り欠き7の各々は、パイプにおいて各向きを有している。この向きは、例えばサンプルパイプの母線11に対して定義される。切り欠きの向きは、サンプルパイプの外表面に接する平面においてサンプルパイプの母線11に対するサンプルパイプの長手方向軸の傾きによって定義することができる。

10

【0048】

ここでの第1の切り欠き7の夫々の向きは、これらの切り欠き7がサンプルパイプの約180°の角度範囲を覆うように互いに対して規則的に傾いている。第1の切り欠き7は、特定の角度の扇形であり、180°にわたるように角度に関して規則的に分布している。サンプルパイプは、例えば以下のように方向付けられた四つの外側切り欠き7を有している。

サンプルパイプの母線11に沿って延在する第1の切り欠き、すなわち長手方向切り欠き13であり、この母線に対する傾斜のその角度 α_1 が略0°である。

20

サンプルパイプの母線11に対して角度 $\alpha_2 = 17^\circ$ 、ここでは約45°だけ傾いた方向に沿って延在する第2の切り欠き、すなわち第1の傾斜切り欠き15である。

サンプルパイプの母線11に対して垂直に延在する、すなわち90°に近い角度 $\alpha_3 = 21^\circ$ で延在する第3の切り欠き、すなわち、横断方向の切り欠き19である。

サンプルパイプの母線11に対して角度 $\alpha_4 = 25^\circ$ 、ここでは約135°だけ傾いた方向に延在する第4の切り欠き、すなわち第2の傾斜切り欠き23である。

【0049】

サンプルパイプの切り欠きの各々の向きを除いて、第1の切り欠き7は、特に、それらの深さ、それらの横断面およびそれらの長さに関して互いに類似し、較正を単純化している。

30

【0050】

第1の切り欠きの寸法は、特に、パイプの買い手によって設定された仕様によって決定され得る。既定では、この場合と同様に、第1の切り欠き7は、EN ISO規格10893-10、特に、そのセクション6等に記載されたタイプのものでもよい。

【0051】

さらに、サンプルパイプは、その壁に作られ、且つパイプの外表面9または内表面10に現れる少なくとも一つの第1の開口を備えている。深さにおいて、第1の開口は、そのパイプの厚みの少なくとも5%にわたる。ここでの第1の開口は、円形断面の半径方向穿孔27の形を取る。さらに、半径方向穿孔27は、ここでは、サンプルパイプの内表面10に現れる。

40

【0052】

さらに、サンプルパイプは、このパイプの壁に作られ、且つパイプの外表面9または内表面10に開いた第2のタイプの細長い切り欠き(図示せず)、すなわち第2の切り欠きを備えることができ、この第2の切り欠きは、第1の切り欠き7の逆のものである。第2の切り欠きは、特に、それらの数、それらの向き、それらの形状および/またはそれらの長さに関して、第1の切り欠き7に類似し得る。

【0053】

さらに、サンプルパイプは、その壁に作られ、且つ内表面10または外表面9に第1の開口に対して逆さに現れる追加の開口を有していてもよい。追加の開口は、深さに関してサンプルパイプ7の厚みの少なくとも5%にわたっている。追加の開口は、図5に示され

50

た半径方向穿孔 2 7 と同様に、第 1 の開口と一致してもよい。

【 0 0 5 4 】

図 6 は、図 1 および図 2 に関して記載された検査レイアウト 6 のように、冶金製品の検査レイアウトを対象とする較正に役に立つモジュール 3 1 を示している。

【 0 0 5 5 】

モジュール 3 1 は、図 3 ~ 図 5 に関して述べられたサンプルパイプのような少なくとも一つのサンプルパイプに関する作業データを保存するために構成されたメモリ 3 3 を備えている。この作業データは、図 1 および図 2 に関連して記載された装置 1 のような構成対象の検査装置によって行われた超音波測定から生じるデータを特に含んでいる。当該測定は、超音波反射体が配置されたサンプルパイプに対して行われる。

10

【 0 0 5 6 】

さらに、モジュール 3 1 は、検査装置の較正に有用なデータを得るためにメモリ 3 3 のデータに対して働く処理機能、すなわち C A L I B R 機能 3 5 を実行する計算機を備えている。この有用なデータは、少なくとも一時的に、メモリ 3 3 内に保存され得る。

【 0 0 5 7 】

メモリ 3 3 は、値 / 角度の対の形でサンプルパイプに関する作用データの少なくとも幾つかを保存するように構成される。各対は、指向性パラメータに関連する超音波の反射の振幅を示している。指向性パラメータは、検査方向、すなわちパイプ中の超音波ビームの伝搬の一般的な方向に対応する。指向性パラメータは、例えばサンプルパイプの母線に対する傾きの角度のような共通の参照に対する検査方向を特徴づける角度値を備えている。

20

【 0 0 5 8 】

メモリ 3 3 は、値 / 角度の対を共にデータの組にグループ化するように構成され、ここでは、データの各組は、おそらくサンプルパイプに関して異なる方向の一つ以上の超音波ビームに対する各超音波反射体または夫々の超音波反射体の一グループの応答すなわち戻りを特徴付けている。各値 / 角度の対は、その対の角度に一致する方向の検査に対する超音波反射体の応答の振幅に対応する。

【 0 0 5 9 】

メモリ 3 3 は、ここでは、U N I S E T データ 3 7 として示される一つの指向性反射体または一つの指向性反射体グループに関する少なくとも第 1 の組のデータ、および多指向性反射体に関する少なくとも第 2 の組のデータ、すなわち O M N I S E T データ 3 9 を保

30

存するように構成される。

【 0 0 6 0 】

指向性反射体は、主に一方向すなわち作用方向の超音波に応答する。換言すれば、一指向性反射体は、主に、超音波の伝搬の方向が指向性反射体の作用方向に対応するときに、超音波に応答するように設計される。図 3 に関して説明された切り欠き 7 のような、製品に配置される細長い切り欠きは、指向性反射体の例であり、各切り欠き 7 は、超音波ビームの作用方向に沿って、切り欠き 7 の長手方向に対して垂直にその切り欠き 7 に衝突する超音波ビームに対して主に応答する。

【 0 0 6 1 】

実際に、互いに異なる方向に実行される超音波検査に対する指向性反射体の全体的な応答は、他の値よりもはるかに大きな振幅値を有し、このより大きな値は、パイプ中の指向性反射体の作用方向に対応する検査方向に対して得られる。

40

【 0 0 6 2 】

多指向性反射体は、多数の異なる方向に沿ってその反射体に衝突する超音波と同様に応答する。この応答の振幅は、ほとんどの検査方向に関して類似している。特に図 4 および図 5 に関して説明された穿孔 2 7 と同様の円形断面の開口は、多指向性反射体の例を表し、穿孔 2 7 は、本質的に、その穿孔 2 7 の軸に垂直に穿孔 2 7 に衝突する超音波ビームの全てに対して同様に応答する。この事実によって、穿孔 2 7 は、無指向性開口とみなすこともできる。

【 0 0 6 3 】

50

図3の切り欠き7のように、ここでの指向性反射体は、それらの反射体の作用方向が検査ショットの方向に対応するようにサンプルパイプにおいて方向付けられる。穿孔27のような多指向性反射体は、これらの作用方向の少なくとも一部が、各検査ショットの方向に対応するようにサンプルパイプ内で方向付けられる。好ましくは、多指向性反射体は、各検査方向がその反射体の作用方向の一つに対応するようにサンプルパイプにおいて設計され、且つ方向付けられる。これは、特に、例えば穿孔タイプ27の無指向性反射体の場合と同様である。

【0064】

組UNISET37は、指向性反射体毎に、サンプルパイプのその反射体の作用方向に対応するように方向付けられた超音波ショットに対する反射体の戻り振幅値に対応する少なくとも一つの値/角度の対を含んでいる。見方を変えれば、値/角度の対は、反射体の作用方向が角度値によって定義される検査方向に対応するようにサンプルパイプ内で方向付けられた指向性反射体の応答に対応する。

10

【0065】

表1.1の二つの左手の列は、サンプルパイプの内表面に作られ、且つ切り欠きの長手方向がこのパイプの母線に対して夫々0°、45°、90°および135°傾けるように方向付けられた四つの切り欠きに対する組UNISET37のタイプの一組のデータの内容を説明している。例えば、これは、図3に関して記載された切り欠き13、15、19および23を含んでいる。添付のデータは、231mmの直径と10mmの厚みを有するサンプルパイプに対応する。この振幅は、パーセンテージとして相対的に表される。初期のゲインは、35デシベルである。ここでの切り欠きは、側面から見た輪郭がU字形の平行六面体である。

20

【0066】

各行において、振幅値は、パイプの母線に関して、そのパイプの該当する切り欠きの向きに対応するように方向付けされた超音波検査に対する各切り欠きの応答に関連する。各行は、指向性反射体の作用方向に対応する検査方向を含んでいる。一つの切り欠きは、互に対称的に方向付けられた二つの指向性反射体を形成する二つの大きな空気/スチールの境界面を有している。表1.1の各行の二つの左手の列は、一つの各指向性反射体につき一つの値/角度の対を示している。角度45°と225°に対応する行は、例えば図3の切り欠き15と類似の同じ切り欠きに関する。

30

【0067】

表1.1の左手列と右手列は、サンプルパイプの外表面に立案され、且つこの表の内部切り欠きと同様に方向付けられた四つの切り欠きに関するデータUNISET37の組の追加内容、補足内容または代替内容を説明している。例えば、これは、図3に関して説明された切り欠き13、15、19および23を含んでいる。

【0068】

組OMNISET39は、複数の値/角度の対を備え、それらの各々は、多指向性反射体のパイプの作用方向に対応するように方向付けられた超音波に対する多指向性反射体の戻り振幅値に対応する。見方を変えれば、各値/角度の対は、角度値によって定義され、且つこの反射体の作用方向に対応する検査方向に対する多指向性反射体の応答に対応している。

40

【0069】

表1.2の二つの左側列は、ここではサンプルパイプの外表面からその内表面へ、サンプルパイプの厚みにおける半径方向に延在する円形断面の開口に対する組OMNISET37のタイプの一組のデータの内容を説明している。該当する開口は、図4に関して記載された開口27のタイプのものである。該当する二つの列は、より具体的にはパイプの内表面近くに位置する開口の部分に関連する。したがって、これらの列は、パイプの内表面に配置された多指向性反射体に対するOMNISETデータの例とみなすことができる。左手列は、同様に360°にわたって分布させた検査方向を5°のステップで纏めている。

50

【 0 0 7 0 】

各行において、振幅値は、パイプの母線に対して指示された角度に対応するように方向付けされた超音波検査に対する開口の応答に関連している。

【 0 0 7 1 】

添付の表 1 . 2 の左手列と右手列は、パイプの外表面近くに延在する開口の部分に対してデータ O M N I S E T 3 9 の組の追加内容、補足内容または代替内容を説明している。

【 0 0 7 2 】

U N I S E T 3 7 および O M N I S E T 3 9 は、メモリ 3 3 の夫々のテーブルに収集することができる。この場合、例えば各テーブルの各行は角度を指し、他方、対応する列は値を指している。

10

【 0 0 7 3 】

メモリ 3 3 は、その結果、すなわち値 / 角度の対の形でサンプルパイプに関する較正データをさらに保存するように構成される。各対は、指向性パラメータに関連する受信ゲインを指定する。指向性パラメータは、較正対象の検査方向に対応する。結果のデータは、ここでは、R E S U L S E T 4 0 とここでは称される一組のデータに収集される。

【 0 0 7 4 】

図 6 の例示的な実施の形態では、メモリ 3 3 は、検査方向をまとめた次元 N (自然数) のインデックス付き表、すなわちテーブル D I R E C T [] を保持する。テーブル D I R E C T [] の各要素は、例えばパイプに接する平面におけるパイプの母線に対する傾斜として各検査方向を定義する角度に対するポイントとして働く。ここで、検査された方向の数 N および角度は、較正後に検査される方向、すなわち較正された方向に対応している。

20

【 0 0 7 5 】

組 U N I S E T 3 7 と O M N I S E T 3 9 のデータは、テーブル D I R E C T [] として特に同じ次元 N の夫々のインデックス付き表に収集される。例えば組 U N I S E T 3 7 は、指向性反射体の応答に関する振幅 N _ A M P [] の表を備え、他方、組 O M N I S E T 3 9 は、多指向性反射体の応答に関する振幅 H _ A M P [] の表を備えている。表 N _ A M P [] および H _ A M P [] の各要素は、テーブル D I R E C T [] 内のインデックス値によって共有される角度に対応する検査方向の特定の反射体の応答の振幅に対応する値に対するポイントとして働く。

【 0 0 7 6 】

R E S U L S E T データ 4 0 は、次元 N のインデックス付き表であり、ここではゲイン R X _ G A I N [] のテーブルに収集され、テーブルの各要素は、テーブル D I R E C T [] 内のインデックス値によって共有される角度に対応する検査方向の調整対象の受信ゲインに対応する値に対するポイントとして働く。

30

【 0 0 7 7 】

C A L I B R 機能 3 5 は、生産段階中の検査では慣習的に、全検査方向を定義するデータをパラメータとして許容する。これらは、較正対象の方向である。受信されたデータは、検査方向に対応する角度値の全て、すなわち 1 8 0 ° などの所定の範囲の角度の扇形に対して検査対象の方向の数としての整数値を含んでもよい。角度の扇形の範囲は、C A L I B R 機能 3 5 に対するパラメータとして使用されてもよい。

40

【 0 0 7 8 】

図 7 は、C A L I B R 機能 3 5 の例示的な実施の形態を説明している。

【 0 0 7 9 】

初期化ステップ 7 0 から開始され、そのステップでは、C A L I B R 機能 3 5 は、較正のパラメータの定義に有用な少なくとも幾つかのデータを受信する。

【 0 0 8 0 】

これらのパラメータは、特に、初期のゲイン値、すなわち I G 値、すなわち将来の超音波検査中の受信時に使用される公称ゲイン値、および閾値 (相対) 振幅値、すなわち T G 値を含み、この T G 値を越えると、欠陥と不完全箇所が区別される。これらのパラメータは、さらに、較正対象の異なる方向、すなわち将来の検査中に使用される検査方向の定義

50

を含んでいる。該当する場合、方向 D I R E C T [] のテーブルの種類のような表を埋め、および/またはそのような表内で既に見つけたデータが使用される。

【 0 0 8 1 】

結果のデータのゲイン値は、角度値に関係なく、全ての対に共通の公称値 I G を取る。例えば公称値 I G は、11 デシベルであり得る。該当する場合、テーブル R X _ G A I N [] の種類の表の各要素をこの公称値 I G で埋める。

【 0 0 8 2 】

さらに、受信されたデータは、サンプルパイプに対する超音波測定データ、特に、一つ以上の指向性反射体および多指向性反射体に対する測定データを含むことができる。これらのデータは、例えばデータの組 U N I S E T 3 7 および O M N I S E T 3 9 の種類のデータの組の形でメモリに保存される。該当する場合、表 N _ A M P [] および H _ A M P [] の種類のテーブルを埋める。

10

【 0 0 8 3 】

初期化ステップ 7 0 の後には、図 6 に関して説明されたデータの組 O M N I S E T 3 9 および U N I S E T 3 7 のような指向性反射体および/または多指向性反射体に関するデータを含む前処理ステップ 7 2 が続く。前処理ステップ 7 2 は、較正の観点から、反射体に関連するデータの品質を向上することを意図している。

【 0 0 8 4 】

前処理ステップ 7 2 は、超音波測定から生じるデータのフォーマット化、このデータの一貫性の検証、標準化、およびより一般的には、任意の統計的処理のうちの一つ以上のステップを含むことができる。

20

【 0 0 8 5 】

一実施の形態では、前処理ステップ 7 2 は、指向性反射体に関するデータ、例えばデータの組 U N I S E T 3 7、および/または多指向性反射体に関するデータ例えばデータの組 O M N I S E T 3 8 の一貫性が検証される下位ステップを含んでいる。

【 0 0 8 6 】

これは、特に、多指向性反射体の作用方向および/または指向性反射体の作用方向に対応する検査方向に対称性が存在するときの場合である。例えば指向性反射体に関するデータの組、すなわち組 U N I S E T 3 7 が、中心対称的な検査方向に対応する角度の対を含む場合、特にそれらの指向性反射体が切り欠きの形で実現されるときに、これらの対の振幅値が互いに近いことが検証され得る。同様の検証は、特にこれが、円形断面の孔、より一般的には多角形の孔の形で実現されるときに、多指向性反射体に対する組のデータに対して行われ得る。

30

【 0 0 8 7 】

それ以外の場合は、一つの選択肢として、元の値から統計的に計算される修正振幅値がこれらの対に割り当てられる。例えば元の振幅値の平均として計算された振幅値が対称的な対の各々に割り当てられる。同様の処理が、多指向性反射体に関するデータの組、例えば組 O M N I S E T 3 9 に対して行われ得る。

【 0 0 8 8 】

表 2 . 1 および表 2 . 2 は、振幅値が検査方向における対称性効果を考慮するように変更されたことを除いて表 1 . 1 および表 1 . 2 に類似している。表 2 . 1 では、例えば角度 4 5 ° および角度 2 2 5 ° に対応する行が、これらの行の各々に表 1 . 1 における対応する行の平均値を振幅値として割り当てることによって、例えば図 3 の切り欠き 1 5 の種類の同じ切り欠きを含むことが考慮される。

40

【 0 0 8 9 】

前処理ステップ 7 2 には、多指向性反射体および指向性反射体に関連するデータ、例えばデータ U N I S E T 3 7 および O M N I S E T 3 9 の統計的処理ステップ 7 4 が続く。指向性反射体に関するデータは、指向性反射体に関するデータの組を完成するために多指向性反射体に関するデータの少なくとも幾つかを用いて補間される。このように、異なる方向に向けられた指向性反射体の応答を表す値/角度の対が定まる。データの第 1 の組と

50

データの第2の組の対の補間によって、多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかにしたがって方向付けられた超音波検査のための標準の振幅に対応する第3の組の対を得ることが可能となる。

【0090】

統計的処理74の終わりに、指向性反射体に関するデータの組、すなわち組UNISET37は、値/角度の対を含み、それらの対の各々は、パイプにおける作用方向が角度によって定義される検査方向に対応する指向性反射体の応答振幅に対応する。

【0091】

最後に、この処理は、ステップ74の統計処理から生じるデータを含む比較ステップ76を含んでいる。このデータは、較正に有用な一組のデータを定めるために、較正パラメータを用いて少なくとも部分的に定義される目標データと比較される。この有用なデータは、特に複数の値/角度の対を含み、その各値/角度の対は、その角度によって定義される検査方向、すなわち較正対象の方向に関する修正ゲイン値を含んでいる。

【0092】

図8は、例えば図7に関して説明されたステップ74を実施するために使用され得る統計処理、すなわち補間機能の一実施の形態を説明している。

【0093】

補間は、初期化ステップ80から開始し、各々が指向性パラメータに関連するゲイン値に対応する一つ以上の値/角度の対が定められるステップ82が続く。指向性パラメータは、検査方向に対応し、ゲイン値は、その方向がその対の角度によって定義される検査に対する一方では指向性反射体の応答振幅の比率および他方では多指向性反射体の応答振幅の比率に対応する。例えばここでは測定ゲインのテーブルまたはテーブルMES_GAIN[N]と称する次元Nであり得るインデックス付き表が使用される。

【0094】

ゲイン値は、望ましい場合は前処理された、指向性反射体に関するデータの組、例えば組UNISET37の対の振幅値、および対応する角度の多指向性反射体に関するデータの組、例えば組OMNISETの対の振幅値から計算される。角度値は、同一の方向を指定していれば互いに対応し、互いに僅かに傾いていれば対応しない。これは、特に同一の角度値を有する場合である。

【0095】

指向性反射体に関する値/角度の各対に関して、その指向性反射体の作用方向に対応する方向を決定する角度の多指向性反射体に関する値/角度の対の振幅値を用いてゲイン値が定められる。

【0096】

指向性反射体に関する対は、多指向性反射体に関する対よりも数が少なくてもよく、それによって僅かな数の互いに異なる向きの切り欠きを使用することが可能となる。ゲインは、デシベルで表され、多指向性反射体の振幅値に対する指向性反射体の振幅値の比率をなすことができる。

【0097】

表3.1は、上記の切り欠きと開口の場合の測定されたゲインの組の内容の例を説明している。各行の左手の列は、同じ角度値に対する表2.2(穿孔)の左手の列の振幅に対する表2.1(切り欠き)の左手の列の振幅のデシベルで表される比率に対応している。

【0098】

次に、ステップ84に進み、そのステップ84では、指向性反射体の作用方向とは異なる検査方向に関するゲイン値に対応する追加の値/角度の対が定められる。ここで、多指向性反射体の作用方向に対応する各検査方向に関する追加の対が定められる。互いに対応する指向性反射体と多指向性反射体の作用方向に関して先のステップで定められた値/角度の対のゲイン値が補間される。この補間は、例えば線形回帰法を実行できる。線形回帰は、ここで記載された切り欠きの数、すなわち4で良好に働く。他の補間方法が使用されてもよい。特に、例えば2次のより複雑な方法は、反射体の数が(8よりも)少ない場合

10

20

30

40

50

に考えられる。

【 0 0 9 9 】

補間の結果は、インデックスがテーブル D I R E C T [] における検査方向に対応する次元 N のインデックス付きテーブル S I M _ G A I N [] のような表に保存され得る。表 3 . 2 は、このような表の内容の例を説明する。切り欠きの作用方向を含む行 0、45、90、135、180、225、280 および 325 のゲイン値は、表 3 . 1 における同じ行のゲイン値に対応する。他の行に示されたゲイン値は、較正対称の検査方向を含み、これらのゲイン値は、切り欠きの作用方向で得られたデータの補間から生じる。ここでの補間は、線形回帰によって行われる。例えば左手の列に関する行 25 ° で得られた 2 . 0 デシベルのゲイン値は、表 3 . 1 の行 0 ° のゲイン値から計算され、このゲイン値には、
10
行 45 ° と行 0 ° の角度差を参照する行 45 ° と行 0 ° のゲインの差が加算され、この差により、行 25 ° と行 0 ° の間の角度偏差が増大する。

【 0 1 0 0 】

ステップ 86 では、各々が指向性パラメータに関連する振幅値に対応する一組の値 / 角度の対を定めるために、多指向性反射体に関する対の振幅値と共にステップ 82 と 84 の対のゲイン値が使用される。指向性反射体に関するデータの値 / 角度の各対の振幅値に、角度が対応するゲイン値が適用される。その結果は、指向性パラメータとしてこの反射体の向きに関連する仮想指向性反射体の応答振幅値とみなすことができる新たな値 / 角度の対の形でメモリに保存される。得られた対の組は、例えば次元 N のインデックス付きテーブル S I M _ A M P [] よりなる、または指向性反射体に関するデータの組、例えばテ
20
ーブル N _ A M P [] の種類の表を完成するために使用される新たな組のデータとして、メモリに保存され得る。

【 0 1 0 1 】

表 3 . 3 は、例えばテーブル S I M _ A M P [] に含まれ得るようなステップ 86 の結果を説明している。各列では、振幅値は、表 2 . 2 における開口に関する対応する行の振幅および表 3 . 2 における対応する行のシミュレーションゲインから計算される。例えば行 25 ° の値 64 . 3 % は、20 で割ったゲインの値の数だけ累乗した値 10 を増大する表 2 . 2 の対応する振幅値から得られる。

【 0 1 0 2 】

次に、各検査方向に関して調整中のゲインは、目標振幅値、例えば値 T S に対する補間から生じた振幅値のデシベル単位の比率によって、初期ゲイン値、例えばゲイン I G を補正することによって計算され得る。テーブル 4 . 1 は、このようにして 11 デシベルでの I G および 80 % での T G に対して得られるゲイン値の例を説明している。表 4 . 2 は、サンプルパイプの外側に関して得られる調整値が、サンプルパイプの内側に関して得られるゲイン値に対して表せることを説明している。
30

【 0 1 0 3 】

図 9 は、上記のテーブル H _ A M P [] および N _ A M P [] に保存された指向性反射体および多指向性反射体に関連する対のような、夫々指向性反射体および多指向性反射体に関連する対からの一組のゲイン値を定めることができる比較機能の一実施の形態を説明している。
40

【 0 1 0 4 】

ステップ 900 では、機能が初期化される。ステップ 902 では、次元 N のデータのインデックス付き表、すなわちゲイン M E S _ G A I N [] のテーブルが定義される。ステップ 904 では、ループカウンタ、ここでは、ダミー変数 i を初期化することによってループ構造が開始される。ステップ 906 では、ループカウンタがインクリメントされる。ステップ 908 では、テーブル N _ A M P [] の列 i に振幅値が存在するか否かが列 i に保存された値 N _ A M P [i] がゼロより大きいか否かをチェックすることによって検証される。

【 0 1 0 5 】

大きい場合、次に、テーブル H _ A M P [] に保存された値に対するテーブル N _ A M
50

P [] に保存された値のインデックス値 i の比率としてゲイン値が計算される (ステップ 910)。このゲインは、デシベルで計算される。計算された値は、ゲイン表 $MES_GAIN []$ の列 i に保存される。

【0106】

大きくない場合、ステップ 912 では、ゲイン表 $MES_GAIN []$ の要素 i にゼロ値が入力される。ステップ 910 とステップ 912 の終わりに、ループカウンタ i がループの終わりを示す値 N に達したか否かがチェックされる (ステップ 914)。達した場合、機能が、ステップ 916 で停止する。達していない場合、機能が、ステップ 906 に戻る。

【0107】

図 10 は、テーブル $MES_GAIN []$ に保存されたゲイン値のような各々が指向性パラメータに関連するゲイン値に対応する値 / 角度の対の補間によってゲイン値に対応する値 / 角度の対を計算できる補間機能の一実施の形態を説明している。

【0108】

初期化ステップ 1000 から開始する。ステップ 1002 では、計算データを受信するために新たな次元 N のインデックス付きテーブル $SIM_GAIN []$ が宣言される。

【0109】

次のステップであるステップ 1004 では、三つのダミー変数 i 、 j および k が初期化される。ステップ 1006 では、ループカウンタとして変数 i がインクリメントされる。

【0110】

ステップ 1008 では、ゲイン $MES_GAIN []$ の第 1 のテーブルの要素 i が値を含むか否かがチェックされる。

【0111】

値を含む場合、次にステップ 1010 では、第 2 のテーブル $SIM_GAIN []$ の列 i の値 $MES_GAIN [i]$ がメモリに保存され、且つ変数 j に変数 i の値が入力される。

【0112】

値を含まない場合、ステップ 1012 では、変数 k に第 1 のループカウンタ i のインクリメントされた値が与えられる。そして、ステップ 1014 では、ゲイン $MES_GAIN []$ の第 1 のテーブルが変数 k の値に対して指定された列に非ゼロ値を含むかがチェックされる。含まない場合、ステップ 1012 に戻る。

【0113】

ステップ 1010 およびステップ 1014 の終わりに、次の公式 (A) に基づいてゲイン $SIM_GAIN []$ の第 2 のテーブルの列 i に保存される新たなゲイン値が定められる (ステップ 1016)。

$$A : SIM_GAIN [i] : MES_GAIN [j] + ((MES_GAIN [k] - MES_GAIN [j]) / (DIRECT [k] - DIRECT [j])) \times (DIRECT [i] - DIRECT [j])$$

次に、ステップ 1018 では、ループカウンタ i がその最終値 n に到達したか否かがテストされる。到達した場合、ステップ 1020 で停止する。到達していない場合、ステップ 1006 に戻る。

【0114】

図 11 は、例えばテーブル $SIM_GAIN []$ に保存されたゲイン値のような各々が指向性パラメータに関連するゲイン値と対応した値 / 角度の対に基づいて振幅値に対応する値 / 角度の対を計算できるシミュレーション機能の実施の形態である。

【0115】

初期化ステップ 1100 から開始する。ステップ 1102 では、計算データを受信することを意図した、例えば次元 N の新たなインデックス付きテーブル $SIM_AMP []$ が宣言される。

【0116】

10

20

30

40

50

次のステップ1104では、ループカウンタとしてダミー変数 i が初期化される。ステップ1106では、カウンタ i がインクリメントされる。ステップ1108では、次の公式(B)に基づいて計算された値がテーブル $SIM_AMP[i]$ の i 番目の要素に入力される。

B: $SIM_AMP[i] := H_AMP[i] \times power(10, SIM_GAIN[i] / 20)$

ステップ1110では、ループカウンタ i の値が値 N 未満であるか否かがチェックされる。

【0117】

N 未満の場合、ステップ1106に戻る。 N 未満でない場合、機能が、ステップ1112で停止する。

10

【0118】

図12は、テーブル $SIM_AMP[i]$ も保存された値のような、各々が指向性パラメータに関連するゲイン値に対応する値/角度の対を計算できる変換機能の実施の形態を説明する。

【0119】

機能が、初期化ステップ1200から開始する。

【0120】

ステップ1202では、計算データを受信するために次元 N のインテックス付き表 $RX_GAIN[i]$ が生成される。

20

【0121】

次のステップであるステップ1204では、ループカウンタとしてダミー変数 i が初期化される。

【0122】

ステップ1206では、ループカウンタ i がインクリメントされ、次に、ステップ1208では、テーブル $RX_GAIN[i]$ の i 番目の要素として次の公式(C)に基づいて計算された値が入力される。

C: $RX_GAIN[i] := 20 \times LOG(TA / SIM_AMP[i]) + IG$

次のステップであるステップ1210では、ループカウンタが厳格にループの終了値 N 未満であるか否かがテストされる。 N 未満の場合、次にステップ1206に戻る。 N 未満でない場合、機能が、ステップ1212で停止する。

30

【0123】

CALIBR機能35は、サンプルパイプに配置された一つ以上の指向性反射体に関連する第1の組のデータおよびこのパイプに配置された多指向性反射体に関連する第2の組のデータに対して作用する。

【0124】

これらの反射体に関連するデータを得ることが、旧来の方法で行われ得る。例えば測定毎に、指向性反射体の作用方向に、且つこの方向に対応するように超音波ショットが実行され、且つ各測定中に検査方向または多指向性反射体の作用方向の数と同じ数のショットが実行される。多素子型の超音波トランスデューサの使用によって測定が容易になり、遅延の法則によってサンプルパイプに対するトランスデューサの相対位置を修正することなく超音波ビームを方向付けすることができる。

40

【0125】

測定をスピードアップするために、本出願人名義の仏国特許出願FR3000212号に記載された種類の装置が使用できる。次に、一回のショットにより、互いに異なる幾つかの方向における振幅データを得ることができる。

【0126】

実際には生産時に使用されるものと同様の検査形態が、較正のために使用されることが好ましい。これによって、生産時に実行される検査が大きく向上する。

【0127】

50

SOCOMATE社のアドレス(例えばアドレスhttp://www.scomate.com/2-products/phased-array/faast-ii-2d-matrix-active-8x40e-2mhz-21.htmで示すような)電子機器ブランドのFAAST IIによって知られているタイプの装置、またはGENERAL ELECTRIC社の(例えばアドレスhttp://www.gemcs.com/en/ultrasound/integrated-systems/tubepipe-grp.htmlで示すような)装置ブランドGRPによって知られている種類の装置が使用できる。

【0128】

CALIBR機能35によって定められた較正データの品質は、第1の組と第2の組のデータを形成するために使用される元のデータの品質の影響を受ける。元のデータは、サンプルパイプに対して行われた超音波測定から生じる。

10

【0129】

図3~図5に関して説明された切り欠き7のような指向性反射体は、一般的に反射体の作用方向に対応する、他の寸法よりも大きな一つの次元を有している。この性質は、同じ検査方向に関して特定の反射体の反射の振幅に関して数個の値を得るために使用され得る。

【0130】

一般的に、少なくともこれらの指向性反射体に関しては、各反射体に対して数回の測定が行われる。二回の測定の間、サンプルパイプおよび超音波トランスデューサは、例えば1ミリメートルだけ互いに対して変位される。これは、切り欠きの長さが一般的に最小の仕様の対象であるためであり、これによって、パイプの単位前進当たりのショット数を考えると、パラメータ化可能なポイント数による最小の長さの切り欠きの検出を保証することが可能となる。

20

【0131】

一つの指向性反射体に関して、一つの検査方向に対応する同じ角度値に対して異なる振幅値を指定する一組の値/角度の対を測定した場合、この指向性反射体に関するデータの組において使用するために、代表的な振幅値を定めることが望ましい。最大の振幅値を代表的値として使用することは不十分であり、これは、大きなサイズの不完全箇所を欠陥とみなすだけの結果となる。平均振幅値を使用することも不十分であり、反射体が高度に分散される場合、これらの反射体が検出されないリスクがある。

30

【0132】

一実施の形態によれば、CALIBR機能35は、そのような組の振幅値から指向性反射体の振幅値特性を抽出できる。この特性値は、閾値として定められ、この閾値よりも高い所定数の連続する振幅値を得ることが可能となる。定められる数は、分解能に対応する。この数は、パラメータ化可能である。例えば添付1の表の測定値は、三個の連続するポイントの分解能に対応している。

【0133】

図13は、同じ検査方向に関連する一組の振幅値に基づく指向性反射体の特性振幅値を得るために使用され得る抽出機能の一実施の形態を説明している。

40

【0134】

分解能の値としての整数Rをパラメータとして受信する初期化ステップ1300から開始する。また、次元kのインデックス付き表、すなわちテーブルAMP[k]の形の組の振幅値を受信する。これらの振幅値は、同じ指向性反射体および同じ検査方向に関する。

【0135】

ステップ1302では、ゼロ値に初期化される変数THが定義される。次に、カウンタとしてダミー変数iを用いてループ構造を開始する。このカウンタは、初期化される(ステップ1304)。次のステップ1306では、要素iに関して、要素i+Rに関して、および後者間にある全ての要素において、テーブルAMP[k]においてメモリに保存さ

50

れた振幅値の内の最小値AMPMINIが決定される。

【0136】

ステップ1308では、ループカウンタがインクリメントされる。ステップ1310では、最小振幅値AMPMINIが値THより大きいかがチェックされる。大きい場合、ステップ1312では、閾値THが最小振幅値AMPMINIを取る。大きくない場合、ステップ1312の終わりにループカウンタがその最終値kに達したかがチェックされる(ステップ1314)。達した場合、機能が、ステップ1316で停止する。達していない場合、ステップ1306に戻る。最終値THは、指向性反射体を特徴付ける閾値に対応する。

【0137】

ここで、88.9ミリメートルの直径で7.61ミリメートルの厚みのサンプルパイプの場合の較正を支援する装置の性能を示す図14および図15を参照する。

【0138】

図14のグラフは、60%の閾値振幅値でパラメータ化された、前述の装置で実行された較正の場合の5°のステップで360°にわたって方向付けされた外部(実際の)切り欠きに関して得られた振幅値を示している。検査は、10回行われ、最も好ましくない振幅値、すなわち目標振幅値から最も離れた実験値が考察された。

【0139】

図15のグラフは、それがデシベルでの測定値と較正值の間の差を示していることを除いて図14と類似している。図15は、約6.4デシベルの分散値を明らかにしている。この値は、工業的要求事項に適合している。

【0140】

次の表は、場合に応じて、外部切り欠きおよび/または内部切り欠きを有する異なるサイズのパイプに関する同様の条件下で得られた分散値を示している。示された値から、上記較正装置が工業的に使用されるのに十分に正確であることが確認できる。

サンプルパイプ (直径×厚み)	内部切り欠き (デシベル)	外部切り欠き (デシベル)
88.9 x 7.61 mm	4.4	6.4
339.7 x 16 mm	6.5	6.9
231 x 10 mm	無し	7.8

【0141】

ここでは、冶金製品、特にパイプ用の検査装置の較正を支援する装置、すなわちモジュールを説明した。モジュールは、多指向性反射体、特に穿孔および切り欠きタイプの指向性反射体のような一つ以上の反射体で実行された超音波検査に対して測定されたデータを使用する。測定に使用される検査方向は、好ましくは、生産時に使用される検査方向に対応し、これによって、較正が大きく向上する。各切り欠きは、各検査方向に沿って方向付けられる。したがって、較正対象の検査方向の数より少ない指向性反射体が使用され、指向性反射体の作用方向に全く対応しない検査方向は、対応する作用方向に関して、多指向性反射体で測定された振幅を用いて較正される。多指向性反射体にて測定された振幅は、指向性反射体に対しておよび多指向性反射体に関して同じ検査方向に対して得られた振幅値の比較に基づいて補正される。これによって、標準の欠陥の数を減少しながら、必要に応じて幾何学的特性が仕様の対象となり得る標準の欠陥として指向性反射体、特に、切り欠きを使用し続けることが可能となる。換言すれば、これによって、複数の検査方向を標準化するためにパイプにおける一つ以上の標準の欠陥をそれらの向きに関係なく使用することが可能となる。また、指向性反射体のみが較正のために特定の寸法に形成されればよい。

【0142】

本発明は、本質的には、装置の形で提示されている。また、本発明は、冶金製品のため

10

20

30

40

50

の検査装置の較正を支援する方法として見なすことができる。この方法によれば、値/角度の対の形の第1の組のデータが保存され、この第1の組のデータは、冶金製品に配置される多指向性反射体に関し、第1の組のデータの値/角度の対は、冶金製品において前記角度に対応する多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに沿って方向付けられた超音波ショットから生じる測定された戻り振幅に対応する。また、値/角度の対の形の第2の組のデータが保存され、この第2の組のデータは、冶金製品に配置された指向性反射体に関し、第2の組のデータは、指向性反射体に関して、前記角度に対応する反射体の一つの作用方向に沿って方向付けられた超音波ショットから生じる測定戻り振幅に対応する。第1の組のデータと第2の組のデータの対の補間によって値/角度の対の形で第3の組のデータが定められ、第3の組の対は、多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに対応するように方向付けられた超音波ショットに関する標準の振幅に対応する。

10

【0143】

また、本発明は上述の種類 of 較正を支援するモジュールを構成するために計算ユニットと協働できるコンピュータプログラム (Computer Program Product) の形で表現することができる。

【0144】

本発明は、単に一例に過ぎない上述の実施の形態に限定されないだけでなく、当業者によって想像され得る全ての変形を包含する。特に、以下の通りである。

同じサンプルパイプに配置された指向性反射体および多指向性反射体が記載されている。変形例として、これらの反射体は、類似のまたは互いに区別可能なサンプルパイプに配置されてもよい。

20

細長い切り欠きの形で指向性反射体が記載されている。この実施の形態は、標準化された、または少なくとも特定の寸法の切り欠きによって超音波検査のための方法および装置を較正することを含む現在の慣習に従う。故に、同一の長さの切り欠きを備えるサンプルパイプが説明されている。しかしながら、提案された装置および方法は、互いに異なる長さを有する切り欠きとも全く同様に良好に働く。

値/角度の対を保存する形が、特に、これらの値を直接に保存する表の形で記載されている。本発明は、これらの記載された形のデータの記憶には全く制限されず、重要なのは、検査方向を定義することを可能とする要素と応答振幅値を定義することを可能とする要素の間に連携があることと、処理機能が対応するデータを処理するためにこの連携を使用することである。例えば同じ検査方向を定義するために異なる組のデータに対して異なる角度を使用することができ、それは、データ処理をより複雑にする影響を有するに過ぎない。

30

CALIBR機能35を実行できるメモリと計算機を備えるモジュールが記載されている。このモジュールは、全く異なる形、例えば検査レイアウトのコマンドコンピュータに、またはより一般的には、冶金製品の検査プロセスに含まれるコンピュータに統合された専用計算機ユニットの形を取ることができる。一実施の形態では、該当するモジュールは、セルがデータを含むスプレッドシートによって読み取り可能なファイルを備えることができ、CALIBR機能35の異なる関数は、セル同士の計算ルールの形で入力される。

本発明は、超音波検査に関して定義されている。超音波検査は、少なくとも一回の超音波ショットを含み、本発明は、値/角度の対の形でデータを保存できるメモリであって、各対が前記角度に対応する冶金製品の方向に沿う超音波ショットの戻り振幅に対応するメモリ、およびメモリに保存されたデータに対して処理機能を実行できる計算機を備える冶金製品用の検査装置の較正に用いられるモジュールとして定義され得る。データは、冶金製品に配置される多指向性反射体に関する第1の組のデータであって、第1の組の対は、多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに沿う戻り振幅に対応する前記第1の組のデータ、および冶金製品に配置される指向性反射体に関する第2の組のデータであって、第2の組のデータは、指向性反射体に対して、反射体の一つの作用方向に沿う戻り振幅に対応する少なくとも一つの対を備える第2の組のデータに編成される。処理機能が、第1の組のデータと第2の組のデータの対の補間によって第3の組のデータを定めるように

40

50

設計され、第3の組の対は、多指向性反射体の作用方向の少なくとも幾つかに対する標準の振幅に対応する。

【0145】

添付1：元のデータ

【表1.1】

表1.1:切り欠きの応答

方向	内側	外側
0	85.0	70.0
45	71.0	50.0
90	95.0	32.0
135	81.0	52.0
180	81.0	63.0
225	76.0	52.0
270	86.0	40.0
315	85.0	58.0

【表 1 . 2】

表1. 2:(振幅における)開口の応答

方向	外側	外側	方向	内側	外側
0	93.0	52.0	180	50.0	41.0
5	90.0	53.0	185	48.0	39.0
10	80.0	48.0	190	41.0	34.0
15	65.0	38.0	195	32.0	26.0
20	55.0	32.0	200	33.0	31.0
25	64.0	37.0	205	38.0	36.0
30	68.0	39.0	210	40.0	35.0
35	67.0	37.0	215	37.0	31.0
40	65.0	38.0	220	37.0	34.0
45	66.0	39.0	225	43.0	35.0
50	69.0	41.0	230	50.0	34.0
55	68.0	38.0	235	52.0	34.0
60	64.0	36.0	240	52.0	33.0
65	58.0	35.0	245	47.0	31.0
70	52.0	34.0	250	44.0	26.0
75	61.0	35.0	255	53.0	28.0
80	71.0	34.0	260	63.0	32.0
85	78.0	39.0	265	69.0	37.0
90	79.0	42.0	270	74.0	40.0
95	76.0	41.0	275	76.0	39.0
100	71.0	36.0	280	72.0	36.0
105	62.0	30.0	285	65.0	36.0
110	52.0	29.0	290	57.0	35.0
115	55.0	33.0	295	61.0	36.0
120	61.0	37.0	300	68.0	43.0
125	63.0	39.0	305	74.0	47.0
130	61.0	39.0	310	75.0	46.0
135	55.0	36.0	315	71.0	43.0
140	47.0	33.0	320	66.0	39.0
145	46.0	29.0	325	67.0	38.0
150	45.0	31.0	330	68.0	40.0
155	43.0	34.0	335	65.0	41.0
160	35.0	30.0	340	59.0	38.0
165	34.0	29.0	345	55.0	32.0
170	43.0	35.0	350	71.0	40.0
175	49.0	39.0	355	86.0	48.0

10

20

30

40

【 0 1 4 6】

添付 2 : 前処理から生じるデータ

【表 2 . 1】

表2. 1: (振幅における) 切り欠きの応答

方向	内側	外側
0	83.0	66.5
45	73.5	51.0
90	90.5	36.0
135	83.0	55.0
180	83.0	66.5
225	73.5	51.0
270	90.5	36.0
315	83.0	55.0

【表 2 . 2】

表2. 2:(振幅における)開口の応答

方向	内側	外側	方向	内側	外側
0	71.5	46.5	180	71.5	46.5
5	69.0	46.0	185	69.0	46.0
10	60.5	41.0	190	60.5	41.0
15	48.5	32.0	195	48.5	32.0
20	44.0	31.5	200	44.0	31.5
25	51.0	36.5	205	51.0	36.5
30	54.0	37.0	210	54.0	37.0
35	52.0	34.0	215	52.0	34.0
40	51.0	36.0	220	51.0	36.0
45	54.5	37.0	225	54.5	37.0
50	59.5	37.5	230	59.5	37.5
55	60.0	36.0	235	60.0	36.0
60	58.0	34.5	240	58.0	34.5
65	52.5	33.0	245	52.5	33.0
70	48.0	30.0	250	48.0	30.0
75	57.0	31.5	255	57.0	31.5
80	67.0	33.0	260	67.0	33.0
85	73.5	38.0	265	73.5	38.0
90	76.5	41.0	270	76.5	41.0
95	76.0	40.0	275	76.0	40.0
100	71.5	36.0	280	71.5	36.0
105	63.5	33.0	285	63.5	33.0
110	54.5	32.0	290	54.5	32.0
115	58.0	34.5	295	58.0	34.5
120	64.5	40.0	300	64.5	40.0
125	68.5	43.0	305	68.5	43.0
130	68.0	42.5	310	68.0	42.5
135	63.0	39.5	315	63.0	39.5
140	56.5	36.0	320	56.5	36.0
145	56.5	33.5	325	56.5	33.5
150	56.5	35.5	330	56.5	35.5
155	54.0	37.5	335	54.0	37.5
160	47.0	34.0	340	47.0	34.0
165	44.5	30.5	345	44.5	30.5
170	57.0	37.5	350	57.0	37.5
175	67.5	43.5	355	67.5	43.5

10

20

30

40

【 0 1 4 7】

添付 3 : 開口 / 切り欠きの応答の比率

【表 3 . 1】

表3. 1:(ゲインにおける)測定された応答の比率

方向	内側	外側
0	1.30	3.11
45	2.60	2.79
90	1.46	-1.13
135	2.39	2.88
180	1.30	3.11
228	2.60	2.79
270	1.46	-1.13
315	2.39	2.88

【表 3 . 2】

表3. 2: (ゲインにおける)応答の補間

方向	内側	外側	方向	内側	外側
0	1.3	3.1	180	1.3	3.1
5	1.4	3.1	185	1.4	3.1
10	1.6	3.0	190	1.6	3.0
15	1.7	3.0	195	1.7	3.0
20	1.9	3.0	200	1.9	3.0
25	2.0	2.9	205	2.0	2.9
30	2.2	2.9	210	2.2	2.9
35	2.3	2.9	215	2.3	2.9
40	2.5	2.8	220	2.5	2.8
45	2.6	2.8	225	2.6	2.8
50	2.5	2.4	230	2.7	2.8
55	2.3	1.9	235	2.9	2.7
60	2.2	1.5	240	2.3	2.7
65	2.1	1.0	245	2.2	2.6
70	2.0	0.6	250	2.0	2.6
75	1.8	0.2	255	1.9	2.6
80	1.7	-0.3	260	1.8	2.5
85	1.6	-0.7	265	1.7	2.5
90	1.5	-1.1	270	1.5	2.5
95	1.6	-0.7	275	1.6	-0.7
100	1.7	-0.2	280	1.7	-0.2
105	1.8	0.2	285	1.8	0.2
110	1.9	0.7	290	1.9	0.7
115	2.0	1.1	295	2.0	1.1
120	2.1	1.5	300	2.1	1.5
125	2.2	2.0	305	2.2	2.0
130	2.3	2.4	310	2.3	2.4
135	2.4	2.9	315	2.4	2.9
140	2.3	2.9	320	2.3	2.9
145	2.2	2.9	325	2.2	2.9
150	2.0	3.0	330	2.0	3.0
155	1.9	3.0	335	1.9	3.0
160	1.8	3.0	340	1.8	3.0
165	1.7	3.0	345	1.7	3.0
170	1.5	3.1	350	1.5	3.1
175	1.4	3.1	355	1.4	3.1

10

20

30

40

【表 3 . 3】

表3. 3: (振幅における) 応答の補間

方向	内側	外側	方向	内側	外側
0	83.0	66.5	180	83.0	66.5
5	81.4	65.5	185	81.4	65.5
10	72.6	58.2	190	72.6	58.2
15	59.2	45.2	195	59.2	45.2
20	54.6	44.3	200	54.6	44.3
25	64.3	51.1	205	64.3	51.1
30	69.3	51.6	210	69.3	51.6
35	67.8	47.3	215	67.8	47.3
40	67.6	49.8	220	67.6	49.8
45	73.5	51.0	225	73.5	51.0
50	79.1	49.2	230	81.6	51.5
55	78.6	44.9	235	83.7	49.2
60	74.9	40.9	240	75.5	47.0
65	66.8	37.2	245	67.4	44.7
70	60.2	32.2	250	60.7	40.5
75	70.4	32.1	255	71.1	42.4
80	81.6	32.0	260	82.3	44.2
85	88.2	35.1	265	89.0	50.7
90	90.5	36.0	270	91.3	54.5
95	91.0	37.0	275	91.0	37.0
100	86.6	35.0	280	86.6	35.0
105	77.9	33.8	285	77.9	33.8
110	67.6	34.5	290	67.6	34.5
115	72.8	39.1	295	72.8	39.1
120	82.0	47.8	300	82.0	47.8
125	88.1	54.0	305	88.1	54.0
130	88.5	56.2	310	88.5	56.2
135	83.0	55.0	315	83.0	55.0
140	73.4	50.3	320	73.4	50.3
145	72.4	46.9	325	72.4	46.9
150	71.4	49.9	330	71.4	49.9
155	67.3	52.8	335	67.3	52.8
160	57.7	48.0	340	57.7	48.0
165	53.9	43.2	345	53.9	43.2
170	68.1	53.3	350	68.1	53.3
175	79.5	62.0	355	79.5	62.0

10

20

30

40

【 0 1 4 8】

添付 4 : 調整されたゲイン値

【表 4 . 1】

表4. 1:絶対値

方向	内側	外側	方向	内側	外側
0	34.7	36.6	180	34.7	36.6
5	34.8	36.7	185	34.8	36.7
10	35.8	37.8	190	35.8	37.8
15	37.6	40.0	195	37.6	40.0
20	38.3	40.1	200	38.3	40.1
25	36.9	38.9	205	36.9	38.9
30	36.3	38.8	210	36.3	38.8
35	36.4	39.6	215	36.4	39.6
40	36.5	39.1	220	36.5	39.1
45	35.7	38.9	225	35.7	38.9
50	35.1	39.2	230	34.8	38.8
55	35.2	40.0	235	34.6	39.2
60	35.6	40.8	240	35.5	39.6
65	36.6	41.6	245	36.5	40.0
70	37.5	42.9	250	37.4	40.9
75	36.1	42.9	255	36.0	40.5
80	34.8	43.0	260	34.8	40.2
85	34.1	42.2	265	34.1	39.0
90	33.9	41.9	270	33.9	38.3
95	33.9	41.7	275	33.9	41.7
100	34.3	42.2	280	34.3	42.2
105	35.2	42.5	285	35.2	42.5
110	36.5	42.3	290	36.5	42.3
115	35.8	41.2	295	35.8	41.2
120	34.8	39.5	300	34.8	39.5
125	34.2	38.4	305	34.2	38.4
130	34.1	38.1	310	34.1	38.1
135	34.7	38.3	315	34.7	38.3
140	35.7	39.0	320	35.7	39.0
145	35.9	39.6	325	35.9	39.6
150	36.0	39.1	330	36.0	39.1
155	36.5	38.6	335	36.5	38.6
160	37.8	39.4	340	37.8	39.4
165	38.4	40.3	345	38.4	40.3
170	36.4	38.5	350	36.4	38.5
175	35.1	37.2	355	35.1	37.2

10

20

30

40

【表 4 . 2】

表4. 2: 相对値

方向	内側	外側	方向	内側	外側
0	34.7	1.9	180	34.7	1.9
5	34.8	1.9	185	34.8	1.9
10	35.8	1.9	190	35.8	1.9
15	37.6	2.3	195	37.6	2.3
20	38.3	1.8	200	38.3	1.8
25	36.9	2.0	205	36.9	2.0
30	36.3	2.6	210	36.3	2.6
35	36.4	3.1	215	36.4	3.1
40	36.5	2.7	220	36.5	2.7
45	35.7	3.2	225	35.7	3.2
50	35.1	4.1	230	34.8	4.0
55	35.2	4.9	235	34.6	4.6
60	35.6	5.2	240	35.5	4.1
65	36.6	5.1	245	36.5	3.6
70	37.5	5.4	250	37.4	3.5
75	36.1	6.8	255	36.0	4.5
80	34.8	8.1	260	34.8	5.4
85	34.1	8.0	265	34.1	4.9
90	33.9	8.0	270	33.9	4.5
95	33.9	7.8	275	33.9	7.8
100	34.3	7.9	280	34.3	7.9
105	35.2	7.3	285	35.2	7.3
110	36.5	5.8	290	36.5	5.8
115	35.8	5.4	295	35.8	5.4
120	34.8	4.7	300	34.8	4.7
125	34.2	4.2	305	34.2	4.2
130	34.1	3.9	310	34.1	3.9
135	34.7	3.6	315	34.7	3.6
140	35.7	3.3	320	35.7	3.3
145	35.9	3.8	325	35.9	3.8
150	36.0	3.1	330	36.0	3.1
155	36.5	2.1	335	36.5	2.1
160	37.8	1.6	340	37.8	1.6
165	38.4	1.9	345	38.4	1.9
170	36.4	2.1	350	36.4	2.1
175	35.1	2.2	355	35.1	2.2

10

20

30

40

【 図 1 】

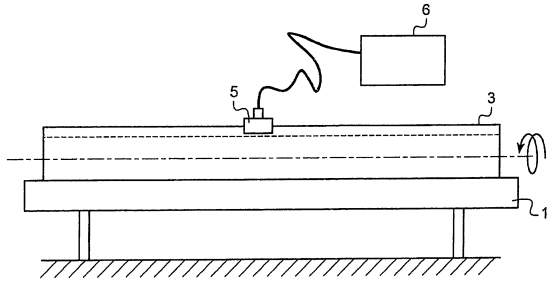


Fig.1

【 図 2 】

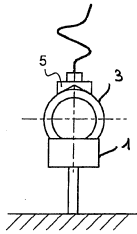


Fig.2

【 図 3 】

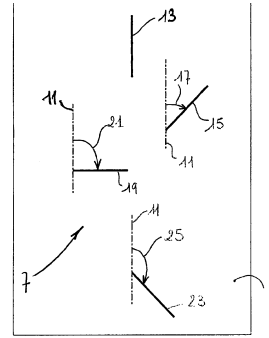


Fig. 3

【 図 4 】

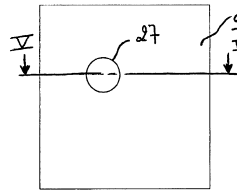


Fig. 4

【 図 5 】

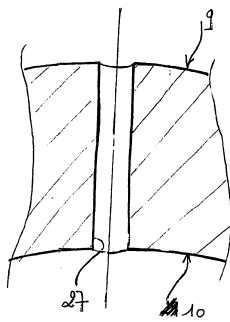


Fig. 5

【 図 6 】

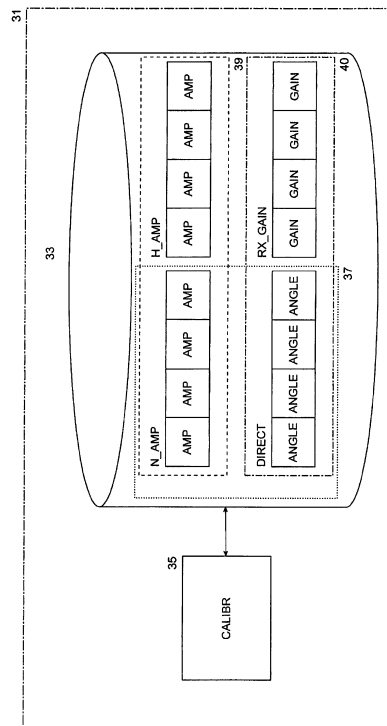


Fig. 6

【図7】

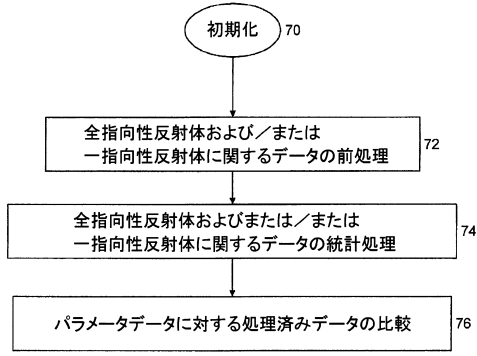
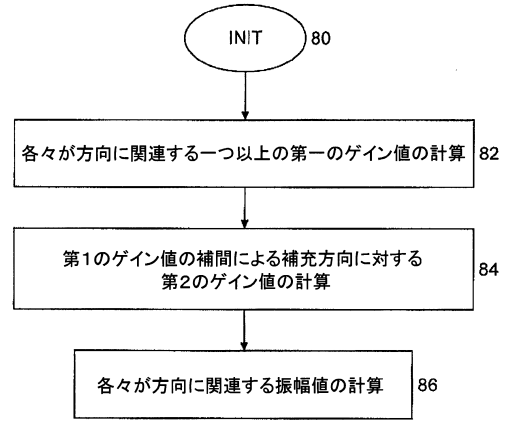


Fig. 7

【図8】



【図9】

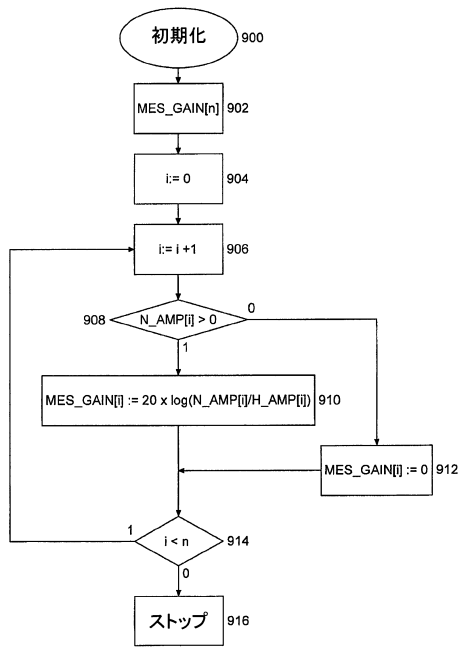


Fig. 9

【図10】

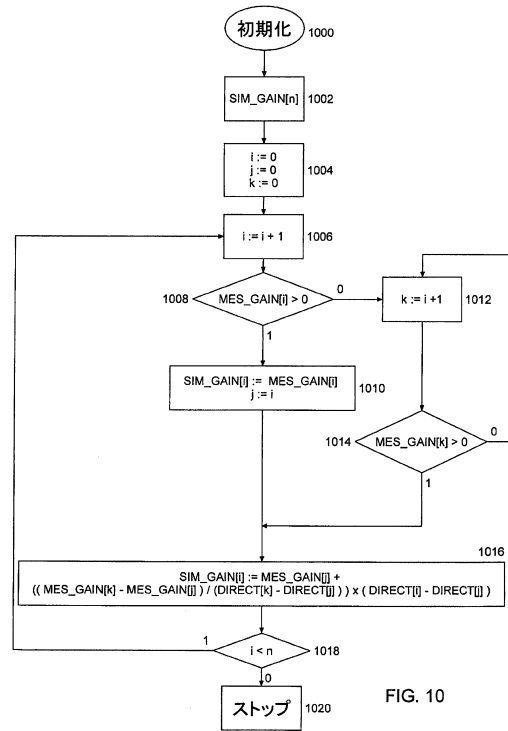


FIG. 10

【図 1 1】

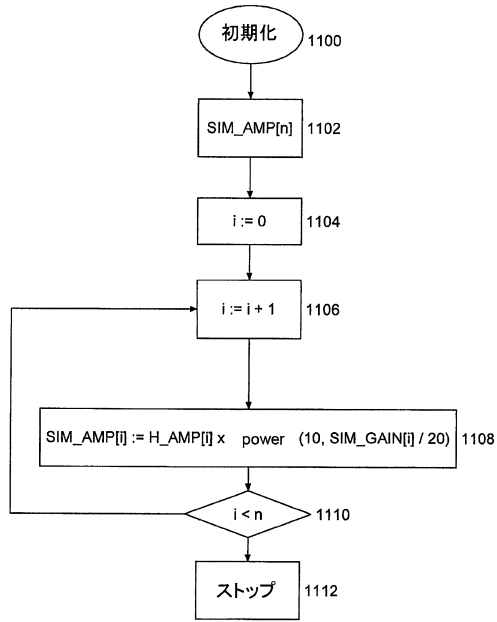


FIG. 11

【図 1 2】

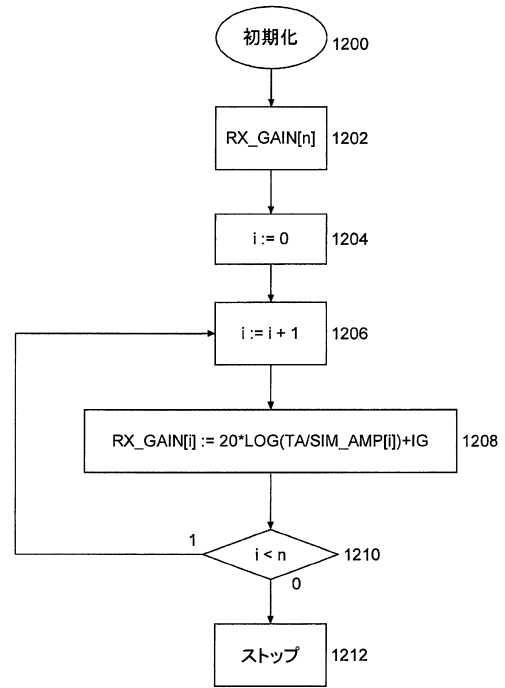


FIG. 12

【図 1 3】

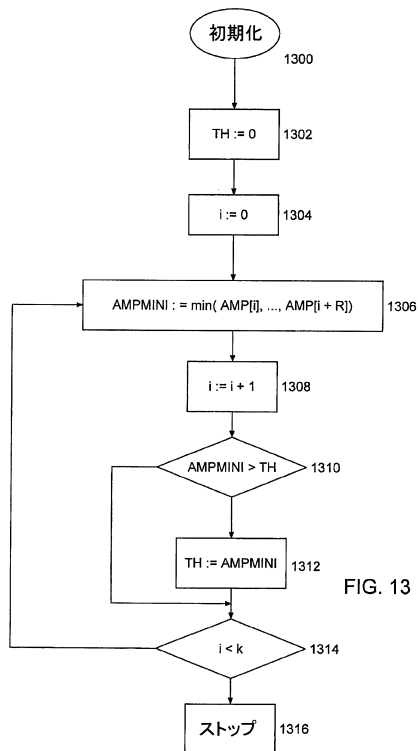


FIG. 13

【図 1 4】

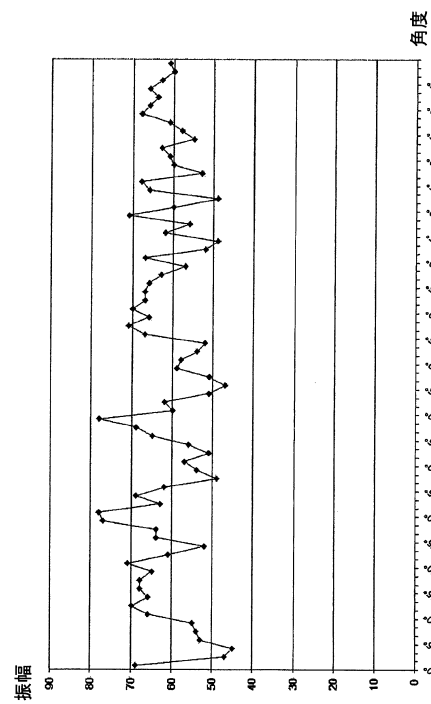


Fig. 14

【 図 15 】

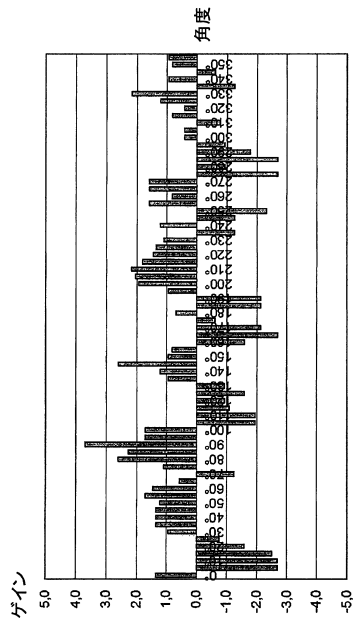


Fig. 15

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭63-008552(JP,A)
特開平11-230948(JP,A)
特開2005-106654(JP,A)
特開2007-218915(JP,A)
特開昭61-070455(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0218589(US,A1)
米国特許第04757716(US,A)
欧州特許出願公開第00251698(EP,A2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

- G01N 29/00-29/52
G01N 27/72-27/90