(19)日本国特許庁(JP)　(12)公 開 特 許 公 報(A)　(11)特許出願公開番号

特開2015-114127
(P2015-114127A)

(43)公開日　平成27年6月22日(2015.6.22)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G01N 29/04	(2006.01)	G01N	29/10	504	2G047
G01N 21/91	(2006.01)	G01N	21/91	B	2G051
G01N 27/83	(2006.01)	G01N	27/83		2G053

審査請求 未請求　請求項の数 4　ＯＬ　（全 18 頁）

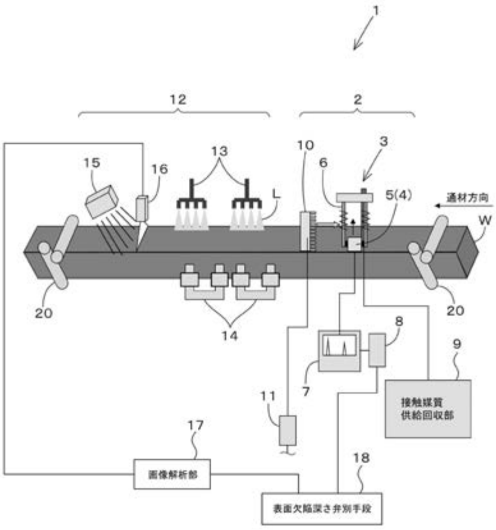
(21)出願番号　特願2013-254312 (P2013-254312)
(22)出願日　平成25年12月9日 (2013.12.9)

(71)出願人　000001199
株式会社神戸製鋼所
兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目２番４号
(74)代理人　100061745
弁理士　安田　敏雄
(74)代理人　100120341
弁理士　安田　幹雄
(72)発明者　福井　利英
兵庫県神戸市西区高塚台１丁目５番５号
株式会社神戸製鋼所　神戸総合技術研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】被検査体の表面欠陥深さの弁別方法及びその装置

(57)【要約】
【課題】磁粉探傷法で得られた被検査体の表面欠陥の探傷結果と表面波探傷法で得られた被検査体の表面欠陥深さの探傷結果とを用いて、被検査体の表面欠陥の深さを評価し被検査体に存在する表面欠陥の深さを正確且つ確実に弁別する被検査体の表面欠陥深さの弁別方法及びその装置を提供する。
【解決手段】本発明の被検査体Wの表面欠陥深さの弁別方法は、被検査体Wの表面及び／又は表面皮下に存在する表面欠陥Ｋを探傷すると共に表面欠陥Ｋの深さを評価し被検査体Wに存在する表面欠陥Ｋの深さを弁別する弁別方法であって、磁粉探傷法を用いて被検査体Wの表面欠陥Ｋを探傷し、被検査体Wに送出される超音波の周波数が変更可能な超音波探傷法を用いて被検査体Wの表面欠陥Ｋを探傷すると共に表面欠陥Ｋの深さを検出し、磁粉探傷法並びに超音波探傷法で得られた各表面欠陥Ｋの探傷結果を用いて被検査体Wの表面欠陥Ｋの有無及び表面欠陥Ｋの深さを弁別する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
被検査体の表面及び／又は表面皮下に存在する表面欠陥を探傷すると共に、当該被検査体の表面欠陥の深さを評価して、被検査体に存在する表面欠陥の深さを弁別する被検査体の表面欠陥深さの弁別方法であって、
磁粉探傷法を用いて、前記被検査体の表面欠陥を探傷し、
前記被検査体に対して送出される超音波の周波数が変更可能とされている超音波探傷法を用いて、前記被検査体の表面欠陥を探傷すると共に当該表面欠陥の深さを検出し、
前記磁粉探傷法で得られた表面欠陥の探傷結果と、前記超音波探傷法で得られた表面欠陥の探傷結果とを用いて、前記被検査体の表面欠陥の有無、及び表面欠陥の深さを弁別する
ことを特徴とする被検査体の表面欠陥深さの弁別方法。
【請求項２】
前記超音波探傷法で得られた表面欠陥の探傷結果を基に、探傷された表面欠陥を、表面欠陥の深さごとに区分けされた深さランクに弁別することを特徴とする請求項１に記載の被検査体の表面欠陥深さの弁別方法。
【請求項３】
被検査体の表面及び／又は表面皮下に存在する表面欠陥を探傷すると共に、当該被検査体の表面欠陥の深さを評価して、被検査体に存在する表面欠陥の深さを弁別する被検査体の表面欠陥深さの弁別装置であって、
磁粉探傷法を用いて、前記被検査体の表面欠陥を探傷する磁粉探傷手段と、
前記被検査体に対して送出される超音波の周波数が変更可能とされている超音波探傷法を用いて、前記被検査体の表面欠陥を探傷すると共に当該表面欠陥の深さを検出する超音波探傷手段と、
前記磁粉探傷手段で得られた表面欠陥の探傷結果と、前記超音波探傷手段で得られた表面欠陥の探傷結果とを用いて、前記被検査体の表面欠陥の有無、及び表面欠陥の深さを弁別する表面欠陥深さ弁別手段と、
を有することを特徴とする被検査体の表面欠陥深さの弁別装置。
【請求項４】
前記表面欠陥深さ弁別手段は、前記超音波探傷手段で得られた表面欠陥の探傷結果を基に、探傷された表面欠陥を、表面欠陥の深さごとに区分けされた深さランクに弁別することを特徴とする請求項３に記載の被検査体の表面欠陥深さの弁別装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、鋼材や棒鋼に存在する表面欠陥の深さを弁別する被検査体の表面欠陥深さの弁別方法及びその装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
金属材料である棒鋼や鋼片などの被検査体の表面や表面皮下に存在する欠陥（以降、両者をまとめて「表面欠陥」と呼ぶ）の有無を検出したり、表面欠陥の深さを検出する方法、言い換えれば被検査体の品質を保証する方法としては、磁粉探傷法や超音波探傷法などが知られている。
磁粉探傷法は、湿式検査技術であって、被検査体表面にできた磁粉指示模様を観察することで表面欠陥を検出する技術であり、超音波探傷法は、超音波を用いて被検査体の表面及び内部に存在する欠陥を探傷する技術である。
【０００３】
超音波探傷法としては、「垂直探傷法」と「斜角探傷法」と「表面探傷法」の３つの技術が一般に用いられている。具体的に、垂直探傷法は、被検査体の表面に対して垂直に進行する超音波を用いて被検査体内を探傷する技術であり、斜角探傷法は、被検査体の表面

に対して斜めに進行する超音波を用いて被検査体内又は被検査体表面を探傷する技術である。表面探傷法は、被検査体の表面を伝播する表面超音波を用いて被検査体表面を探傷する技術である。

【０００４】

被検査体の表面品質を保証する場合は、上記した磁粉探傷法や表面波探傷法などが用いられ、被検査体の内部品質を保証する場合は、垂直探傷法及び斜角探傷法が用いられている。

このように、様々な探傷手法があるが、より被検査体の表面や表面皮下に存在する欠陥や欠陥深さを正確に検出するため、すなわち被検査体の品質を確実に保証するために、上記した複数の探傷手法を組み合わせた被検査体の検査が行われている。

【０００５】

複数の探傷手法を組み合わせた被検査体の検査技術としては、例えば、特許文献１及び特許文献２に開示されているようなものがある。

特許文献１には、鋼片等の被検材を表面欠陥探傷、超音波斜角探傷及び超音波垂直内部探傷により夫々探傷し、その探傷結果から被検材の合否判定を行なうに際して、表面欠陥探傷により検出された全ての欠陥及び斜角探傷により検出された欠陥のうち欠陥評定深さが疵取り限界値より浅い欠陥については、夫々の欠陥評定位置を疵取り限界値まで疵取りを行ない、垂直内部探傷により欠陥が検出された場合、及び斜角探傷により検出された欠陥のうち欠陥評定深さが疵取り限界値より深い欠陥については被検材を内部欠陥材として処理する鋼片等の被検材の合否判定方法が開示されている。

【０００６】

また、特許文献２には、複数の非破壊試験を組み合わせた探傷方法において、浸透液を含む接触媒質を探傷面と探触子との間に供給して超音波探傷試験を行い、前記浸透液を含む接触媒質の供給から所要の浸透液浸透時間を経過したのちに浸透液による欠陥指示模様を検出する探傷方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００７】

【特許文献１】特公平６－７７０００号公報

【特許文献２】特公平６－８２１１８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

ところで、磁粉探傷法を用いて被検査体の検査を行う際には、本来、被検査体に存在している欠陥が検出されないことが稀にある。また、超音波探傷法を用いて被検査体の検査を行う際には、欠陥ではない箇所（例えば、略角状の被検査体のコーナーで反射した超音波など）を誤って欠陥として検出したり、被検査体に存在している欠陥の深さを誤って検出したりすることが稀にある。

【０００９】

このような誤検出が発生した場合は、被検査体の品質を確実に保証することが不可能になる。例えば、実際に存在する被検査体の表面欠陥の深さが比較的浅いものであるにもかかわらず、表面欠陥の深さが「深い」と検出することもあれば、逆に、実際に存在する被検査体の表面欠陥の深さが比較的深いものであるにもかかわらず、表面欠陥の深さが「浅い」と検出することもある。

【００１０】

ただし、表面欠陥が浅いにもかかわらず「深い」ものとして検出された場合、検出された深さでその表面欠陥の箇所を削ることで製品として出荷することができ、また被検査体の前後端内部であれば、製品となる重量分を確保できるように被検査体の前後端を切削することで製品として出荷することができる。

一方で、表面欠陥が深いにもかかわらず「浅い」ものとして検出された場合、検出され

た深さでその表面欠陥の箇所を削ったとしても、表面欠陥は依然存在すること（削り残し）となり、係る状態のままでは製品として出荷することは非常に困難である。

【００１１】

ところで、検出された表面欠陥は、探傷工程の後工程である表面欠陥除去工程で、検出された表面欠陥の位置データを基に、サーボグラインダーやフライスカッターなどの切削装置（疵取機）で自動的に取り除かれる。この表面欠陥除去工程で用いられる切削装置は、構造上、被検査体の表面から浅い箇所（例えば、数ｍｍ程度）の表面欠陥しか除去（疵取り）することができない。

【００１２】

そこで、上述した「削り残し」を避けるため、表面欠陥の疵取り深さを切削装置の限界まで深く切削するように設定しておけば、表面欠陥の取り残しの確率は減少するようにはなるが、表面欠陥が存在する位置付近を深く切削する分、切削時間がかかると共に、切削刃の損耗も大きくなる虞がある。さらに、切削刃の損耗が大きくなるための疵取り不良や、損耗した切削刃を取り替える費用もかかり、製品の製造コストが増大する問題も生じる。

【００１３】

まとめれば、従来の被検査体の検査技術で探傷した表面欠陥を切削装置で切削しているだけでは、被検査体の表面欠陥が正確に探傷され、且つ被検査体から表面欠陥が確実に除去されたが不明である。

このような誤った探傷結果を回避するために、特許文献１や特許文献２などに開示されているように、複数の検査技術を組み合わせて、被検査体の検査を行うことも考えられる。

【００１４】

しかしながら、特許文献１や特許文献２では、２つ以上の検査技術を併用することが開示されているだけであって、上記した誤検出を回避すべく、２つ以上の検査技術を協働させ且つ有効に動作させるための手法の開示はなされていない。

そこで本発明は、上記問題点に鑑み、磁粉探傷法で得られた被検査体の表面欠陥の探傷結果と、表面波探傷法で得られた被検査体の表面欠陥深さの探傷結果とを用いて、当該被検査体の表面欠陥の深さを評価して、被検査体に存在する表面欠陥の深さを、正確且つ確実に弁別することができる被検査体の表面欠陥深さの弁別方法及びその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】

【００１５】

上述の目的を達成するため、本発明においては以下の技術的手段を講じた。

本発明に係る被検査体の表面欠陥深さの弁別方法は、被検査体の表面及び／又は表面皮下に存在する表面欠陥を探傷すると共に、当該被検査体の表面欠陥の深さを評価して、被検査体に存在する表面欠陥の深さを弁別する被検査体の表面欠陥深さの弁別方法であって、磁粉探傷法を用いて、前記被検査体の表面欠陥を探傷し、前記被検査体に対して送出される超音波の周波数が変更可能とされている超音波探傷法を用いて、前記被検査体の表面欠陥を探傷すると共に当該表面欠陥の深さを検出し、前記磁粉探傷法で得られた表面欠陥の探傷結果と、前記超音波探傷法で得られた表面欠陥の探傷結果とを用いて、前記被検査体の表面欠陥の有無、及び表面欠陥の深さを弁別することを特徴とする。

【００１６】

好ましくは、前記超音波探傷法で得られた表面欠陥の探傷結果を基に、探傷された表面欠陥を、表面欠陥の深さごとに区分けされた深さランクに弁別するとよい。

本発明に係る被検査体の表面欠陥深さの弁別装置は、被検査体の表面及び／又は表面皮下に存在する表面欠陥を探傷すると共に、当該被検査体の表面欠陥の深さを評価して、被検査体に存在する表面欠陥の深さを弁別する被検査体の表面欠陥深さの弁別装置であって、磁粉探傷法を用いて、前記被検査体の表面欠陥を探傷する磁粉探傷手段と、前記被検査体に対して送出される超音波の周波数が変更可能とされている超音波探傷法を用いて、前

記被検査体の表面欠陥を探傷すると共に当該表面欠陥の深さを検出する超音波探傷手段と、前記磁粉探傷手段で得られた表面欠陥の探傷結果と、前記超音波探傷手段で得られた表面欠陥の探傷結果とを用いて、前記被検査体の表面欠陥の有無、及び表面欠陥の深さを弁別する表面欠陥深さ弁別手段と、を有することを特徴とする。

【００１７】

好ましくは、前記表面欠陥深さ弁別手段は、前記超音波探傷手段で得られた表面欠陥の探傷結果を基に、探傷された表面欠陥を、表面欠陥の深さごとに区分けされた深さランクに弁別するとよい。

【発明の効果】

【００１８】

本発明に係る被検査体の表面欠陥深さの弁別方法及びその装置によれば、磁粉探傷法で得られた被検査体の表面欠陥の探傷結果と、表面波探傷法で得られた被検査体の表面欠陥深さの探傷結果とを用いて、当該被検査体の表面欠陥の深さを評価して、被検査体に存在する表面欠陥の深さを、正確且つ確実に弁別することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１９】

【図１】本発明に係る被検査体の表面欠陥深さの弁別装置を示す概略図である。

【図２】（ａ）は、被検査体の表面欠陥深さの弁別装置の超音波探傷手段の構成を示す概略図であり、（ｂ）は、被検査体の表面欠陥深さの弁別装置の磁粉探傷手段の構成を示す概略図である。

【図３】表面波探傷の周波数（波長）による表面欠陥の検出性能の違いを示す図である。

【図４】表面欠陥の深さと深さランクとの関係を示した図である。

【図５】本発明に係る被検査体の表面欠陥深さの弁別装置の変形例を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【００２０】

以下、本発明に係る被検査体の表面欠陥深さの弁別装置の実施形態について、図を基に説明すると共に、この弁別装置を用いた被検査体の表面欠陥深さの弁別方法の本発明について、図を基に説明する。

本発明に係る被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１は、磁粉探傷法を用いて、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋを探傷し、更に、超音波探傷法を用いて、棒鋼や鋼材などの被検査体Ｗの表面欠陥Ｋを探傷すると共にその表面欠陥Ｋの深さを検出し、当該被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さを評価して、被検査体Ｗに存在する表面欠陥Ｋの深さを弁別する装置である。

【００２１】

なお、本実施形態では、被検査体Ｗの表面と表面皮下に存在する欠陥をまとめて「表面欠陥Ｋ」と呼ぶ。

図１は、本発明に係る被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１を示す図である。また、図２（ａ）は、被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１の超音波探傷手段２の構成を示す図であり、図２（ｂ）は、被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１の磁粉探傷手段１２の構成を示す図である。

【００２２】

図１、図２に示すように、本発明の被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１は、被検査体Ｗの検査する検査ラインに設置される。この検査ラインは、被検査体Ｗを搬送する搬送部２０（一対のピンチローラ）を備えており、搬送部２０で搬送される被検査体Ｗに対して、表面欠陥Ｋなどの有無の検査を行う。

検査ラインに設置された弁別装置１は、鋼材搬送方向の上流側に配備された超音波探傷手段２と、その下流側に配備された磁粉探傷手段１２と、磁粉探傷手段１２で得られた表面欠陥Ｋの探傷結果と、超音波探傷手段２で得られた表面欠陥Ｋの探傷結果とを用いて、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの有無、及び表面欠陥Ｋの深さを弁別する表面欠陥深さ弁別手段１８と、を有している。

【００２３】

このように、超音波探傷手段２の後に、磁粉探傷手段１２を配置することで、超音波探傷手段２で用いられた接触媒質が被検査体Ｗの表面に少しだけ残留することとなり、磁粉探傷手段１２で散布される磁粉液Ｌの被検査体Ｗの表面への塗れ性が良くなる。
図１、図２（ａ）に示すように、超音波探傷手段２は、被検査体Ｗに対して送出される超音波の周波数が変更可能とされている表面波探傷法を用いて、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋを探傷すると共に当該表面欠陥Ｋの深さを検出するものである。
【００２４】
超音波探傷手段２は、探触子４と、探触子４とセンサホルダ５とホルダ支持体６からなるセンサヘッド３と、超音波探傷器７と、信号記録処理部８と、接触媒質供給回収部９と、エアブロア１０と、エア供給部１１とを有するものである。
センサヘッド３は、探触子４と、探触子４を保持するセンサホルダ５と、センサホルダ５を支持し被検査体Ｗに探触子４を押し付けるように当接させる機構を備えたホルダ支持体６とで構成されるものである。
【００２５】
探触子４は、例えば圧電素子によって構成されており、搬送部２０によって搬送されている被検査体Ｗの表面直下を伝播する超音波（表面波）を送出する送出部及び被検査体Ｗの表面及び表面皮下に存在する表面欠陥Ｋで反射して戻った超音波を受波する受波部を有する。送出部は、所定電圧のパルス電流が加えられると所定周波数の超音波（表面波）を送出する機能を有し、受波部は、反射超音波（反射表面波）を受波すると共に、その反射表面波を受波すると受波した反射表面波に対応したパルス電流を発生する機能とを有する。
【００２６】
図２（ａ）の右側のＡ’－Ａ’矢視図に示すように、探触子４が被検査体Ｗの側面に当接し、矢印で示される被検査体Ｗの周方向に表面波が送出部から送出され、被検査体Ｗの表面及び表面皮下に存在する表面欠陥Ｋで反射して戻った超音波を受波部で受波する。
特に、本実施形態の超音波探傷手段２における探触子４は、異なる２種類以上の圧電素子で構成されており、複数の周波数（例えば、ｆ１＝５ＭＨｚ，ｆ２＝２ＭＨｚ，ｆ３＝１．５ＭＨｚ）の表面波を送出することができる。
【００２７】
図３に示すように、例えば、深さが０．２ｍｍの表面欠陥Ｋを検出しようとする場合、周波数が５ＭＨｚの超音波を用いると、表面波伝播領域が狭く、０．２ｍｍ深さの表面欠陥Ｋを検出することが容易である。一方、周波数が２ＭＨｚの超音波を用いて表面欠陥Ｋを検出しようとすると、表面波伝播領域が広く、０．２ｍｍ深さの表面欠陥Ｋを検出しにくい。
【００２８】
そして、上記した超音波（表面波）の周波数（波長）による検出性能の違いを、表１に示す。
【００２９】
【表１】

周波数[MHz]	波長[mm]	検出深さ目安[mm]（1/4波長）
1.5	2.13	0.53
2	1.60	0.40
5	0.64	0.16

表1 超音波(表面波)探傷の周波数(波長)による検出性能の違い
【００３０】
表１に示すように、表面波の特徴として超音波のエネルギーは、表層の１波長分程度に

集中するため、反射波強度は表面欠陥Ｋの深さと関係があるので、異なる周波数（波長）の表面波を用いている。それゆえ、表面欠陥Ｋの深さ情報を得ることができる。また、周波数の異なる表面波を使い分けることで、弁別したい深さを変えることもできる。

このように、周波数によって検出可能な表面欠陥Ｋの深さが異なるので、本実施形態では周波数を切り替え可能にしている。

【００３１】

センサホルダ５は、例えば略立方体で下方が開放された箱型の筐体であって、ホルダ支持体６により支持されるものとなっている。

センサホルダ５は、その箱型の内部において、前述した探触子４と、その探触子４と被検査体Ｗとの間で超音波を伝達する接触媒質を探触子４に供給するための接触媒質供給管と、供給された接触媒質を探触子４から回収するための接触媒質回収管を有するものである。

【００３２】

超音波探傷器７は、センサヘッド３に備えられた探触子４に接続されており、探触子４の送出部として働く２種類の圧電素子のいずれかへ選択的に所定電圧のパルス電流を出力する。また、超音波探傷器７は、当該２種類の圧電素子が反射表面波を受波して受波部として働いたときに発生したパルス電流を受け取り、後述する信号記録処理部８に反射表面波信号として出力するものである。超音波探傷器７でパルス電流を調整することで、被検査体Ｗの表面に伝播する表面波を探触子４に送出させることができる。

【００３３】

信号記録処理部８は、超音波探傷器７に接続されており、超音波探傷器７から出力された反射表面波信号を受信して、受信した反射表面波信号を基に、反射表面波（エコー）の到達時間、すなわち表面欠陥Ｋの深さなどを算出するものである。信号記録処理部８で算出された表面欠陥Ｋの深さの探傷結果は、後述する表面欠陥深さ弁別手段１８に送られる。

【００３４】

接触媒質供給回収部９は、センサヘッド３の探触子４で用いられる接触媒質を、センサホルダ５の接触媒質供給管を通して探触子４に供給すると共に、センサホルダ５の接触媒質回収管を通して探触子４から接触媒質を回収するものであり、センサホルダ５の接触媒質供給管及び接触媒質回収管に接続されている。

エアブロア１０は、図２（ａ）に示すように、被検査体Ｗの側面上に残る接触媒質などを除去するための手段である。このエアブロア１０は、センサヘッド３が配置された被検査体Ｗの側面上で、センサヘッド３から所定の距離だけ離れた通材方向下流側に配置されていて、被検査体Ｗの側面幅とほぼ同じ幅である略直方体の筐体と、該筐体の長手方向に沿うと共に通材方向とは逆向きに突設された複数のエアノズルと、エア導入口（図示せず）とから構成される。

【００３５】

一方、図１、図２（ｂ）に示すように、磁粉探傷手段１２は、搬送部２０によって搬送されている被検査体Ｗの表面に磁粉液Ｌを散布する磁粉液散布部１３と、この磁粉液散布部１３の下流側で被検査体Ｗを磁化させる磁化器１４と、この磁化器１４の下流側で被検査体Ｗの表面の照明を行う照明部１５と、この照明部１５によって蛍光発光した磁粉模様を撮像する撮像部１６と、この撮像部１６で撮像した画像を解析して表面欠陥Ｋを検出する画像解析部１７とを有するものである。

【００３６】

磁粉液散布部１３は、被検査体Ｗの表面に対して、磁粉（鉄粉に蛍光体を付着させたもの）が含まれた検査液Ｌを散布ノズルで散布するものである。

磁化器１４は、例えば、コ字状の磁性体にコイルを巻き付けた電磁石２組で構成されていて、これら各コ字状の磁性体の一対の先端部（極部）の間を被検査体Ｗに近づけて、コイルに交流電流を印可し、両極部間に位置する被検査体Ｗの表面に磁場を印可するものである。この磁化器１４により磁場が印可された被検査体Ｗに表面欠陥Ｋが存在する場合、

表面欠陥Ｋの近傍で漏洩した磁束が存在するため、表面欠陥Ｋのない部分よりも強い磁界が生じ、蛍光体を含んだ磁粉が表面欠陥Ｋの近傍に高密度に凝集し、表面欠陥Ｋの状況に対応する磁粉の模様が現れる。

【００３７】

照明部１５は、表面欠陥Ｋの近傍で漏洩した磁束によって生じる磁粉模様に紫外線を照射する紫外線ランプなどであり、輝度ムラの少ない光源が用いられる。

撮像部１６は、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの近傍に付着した蛍光体を含む磁粉から発せられた蛍光を撮像し、その撮像した画像は画像解析部１７へ供給されるものである。撮像部１６には、例えばラインセンサカメラなどが用いられる。

【００３８】

画像解析部１７は、撮像部１６で撮像された被検査体Ｗの表面画像を解析して、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの有無を判定する。画像解析部１７で解析された表面欠陥Ｋの探傷結果は、後述する表面欠陥深さ弁別手段１８に送られる。また、上記した超音波探傷手段２で得られた表面欠陥Ｋの探傷結果も、後述する表面欠陥深さ弁別手段１８に送られる。

表面欠陥深さ弁別手段１８は、超音波探傷手段２で得られた表面欠陥Ｋの探傷結果と、磁粉探傷手段１２で得られた表面欠陥Ｋの探傷結果を基に、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの有無、及び表面欠陥Ｋの深さを同定・弁別するものである。

【００３９】

この表面欠陥深さ弁別手段１８は、超音波探傷手段２の信号記録処理部８に接続されると共に、磁粉探傷手段１２の画像解析部１７に接続されている。

表２に示すように、表面欠陥深さ弁別手段１８は、被検査体Ｗの表面及び表面皮下に存在する、あらゆる表面欠陥Ｋの深さを検出することができる。

表２のパターン１を見てみると、磁粉探傷手段１２において、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋが検出されている。また、超音波探傷手段２においては、超音波の周波数をｆ１にして探傷した場合でも、超音波の周波数をｆ２（ｆ１＞ｆ２）に切り替えて探傷した場合でも、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さが検出されている。このような検出結果の場合、被検査体Ｗに存在する表面欠陥Ｋの形状は、被検査体Ｗの表面で開口していて、疵深さが深い表面欠陥Ｋであると同定される。

【００４０】

次に、表１のパターン２を見てみると、磁粉探傷手段１２において、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋが検出されている。また、超音波探傷手段２においては、超音波の周波数をｆ１にして探傷した場合のみ、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さが検出されている。このような検出結果の場合、被検査体Ｗに存在する表面欠陥Ｋの形状は、被検査体Ｗの表面で開口していて、疵深さが浅い表面欠陥Ｋであると同定される。

【００４１】

表２のパターン３を見てみると、磁粉探傷手段１２において、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋが検出されている。一方、超音波探傷手段２においては、いずれの超音波の周波数においても、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さは検出されていない。このような検出結果の場合、被検査体Ｗに存在する表面欠陥Ｋの形状は、被検査体Ｗの表面で開口していて、疵深さがごく浅い表面欠陥Ｋであると同定される。

【００４２】

表２のパターン４を見てみると、磁粉探傷手段１２において、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋが検出されず、超音波探傷手段２においては、超音波の周波数をｆ１にして探傷した場合でも、超音波の周波数をｆ２（ｆ１＞ｆ２）に切り替えて探傷した場合でも、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さが検出されている。

このような検出結果の場合、被検査体Ｗに存在する表面欠陥Ｋの形状は、被検査体Ｗの表面で閉口していて、疵深さが深い表面欠陥Ｋであると同定される。

【００４３】

表２のパターン５を見てみると、磁粉探傷手段１２において、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋが検出されず、超音波探傷手段２においては、超音波の周波数をｆ１にして探傷した場合

にのみ被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さが検出されている。このような検出結果の場合、被検査体Ｗに存在する表面欠陥Ｋの形状は、被検査体Ｗの表面で閉口していて、疵深さが浅い表面欠陥Ｋであると同定される。

【００４４】

表２のパターン６を見てみると、磁粉探傷手段１２において、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋが検出されず、超音波探傷手段２においては、超音波の周波数をｆ２にして探傷した場合にのみ被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さが検出されている。このような検出結果の場合、被検査体Ｗに存在する表面欠陥Ｋの形状は、被検査体Ｗの表面で閉口していて、疵深さが深い表面欠陥Ｋであると同定される。

【００４５】

【表２】

	パターン①	パターン②	パターン③	パターン④	パターン⑤	パターン⑥
磁粉探傷	○	○	○	×	×	×
表面波探傷 周波数f1	○	○	×	○	○	×
表面波探傷 周波数f2	○	×	×	○	×	○
想定される 疵性状	・閉口 ・深い	・閉口 ・浅い	・閉口 ・ごく浅い	・閉口 ・深い	・閉口 ・浅い	・閉口 ・深い

周波数f1＞f2

表2　磁粉探傷と超音波（表面波）探傷の結果の組み合わせの一例

【００４６】

以上述べた如く、本発明の特徴である表面欠陥深さ弁別手段１８は、複数の探傷手段（磁粉探傷手段１２、及び超音波探傷手段２）で得られた結果を複合して検証することで、被検査体Ｗに存在するあらゆる表面欠陥Ｋ、及びその表面欠陥Ｋの深さを弁別することができる。

例えば、磁粉探傷手段１２で、表面欠陥Ｋが検出されていても実際には表面欠陥Ｋが存在しない場合や、逆に表面欠陥Ｋが検出されていなくても実際には表面欠陥Ｋが存在する場合があり、そのときに超音波探傷手段２で得られた探傷結果を参照することで、表面欠陥Ｋの誤検出を低減させることができる。

【００４７】

さらに、本発明の特徴である表面欠陥深さ弁別手段１８には、超音波探傷手段２における探傷結果を基に、表面欠陥Ｋをその深さごとに区分けされた深さランクに弁別する機能が備えられている。この機能によって、検出された表面欠陥Ｋの深さの信頼性を高めることができ、表面欠陥Ｋをさらに良好に弁別することができる。

表面欠陥深さ弁別手段１８にて求められる深さランクは、超音波探傷手段２の信号記録処理部８で反射信号強度を基にして算出されるものであり、発射される超音波の周波数と受信された信号の強度とを基に表面欠陥Ｋ（表面疵）の深さを推定し、ランク付けしたものである。

【００４８】

本実施形態では、深さが０．５ｍｍ以下の比較的浅い表面欠陥Ｋを「深さランク１」とし、深さが０．５～１．０ｍｍの範囲内の表面欠陥Ｋを「深さランク２」とし、深さが１．０ｍｍ以上の比較的深い表面欠陥Ｋを「深さランク３」として、表面欠陥Ｋの深さを弁

別（区分け）する。

具体的には、表面欠陥Ｋの探傷を行う際、送出される超音波の周波数が５ＭＨｚのとき、受波される反射信号強度が予め設定された閾値以上である場合、且つ、送出される超音波の周波数が１．５ＭＨｚ及び２ＭＨｚのとき、受波される反射信号強度が予め設定された閾値未満である場合に、検出される表面欠陥Ｋの深さを「深さランク１」に弁別する。

【００４９】

言い換えれば、送出される超音波の周波数が５ＭＨｚであるときのみ反射信号強度が受波される場合、もしくは、送出される全ての周波数（５ＭＨｚ、２ＭＨｚ、１．５ＭＨｚ）において反射信号が受波されない（表面欠陥Ｋが検出されない）場合に、検出される表面欠陥Ｋの深さを「深さランク１」に弁別する。

次に、送出される超音波の周波数が２ＭＨｚのとき、受波される反射信号強度が予め設定された閾値以上である場合、且つ、送出される超音波の周波数が１．５ＭＨｚとき、受波される反射信号強度が予め設定された閾値未満である場合に、検出される表面欠陥Ｋの深さを「深さランク２」に弁別する。

【００５０】

言い換えれば、送出される超音波の周波数が１．５ＭＨｚのとき、反射信号が受波されない場合、且つ、送出される超音波の周波数が５ＭＨｚ及び２ＭＨｚであるとき、反射信号強度が受波される場合に、検出される表面欠陥Ｋの深さを「深さランク２」に弁別する。

また、送出される超音波の周波数全て（５ＭＨｚ、２ＭＨｚ、１．５ＭＨｚ）で反射信号が受波されると共に、その反射信号強度が予め設定された閾値以下である場合に、検出される表面欠陥Ｋの深さも「深さランク２」に弁別する。

【００５１】

さらに、送出される超音波の周波数が１．５ＭＨｚのとき、受波される反射信号強度が予め設定された閾値以上である場合に、検出される表面欠陥Ｋの深さを「深さランク３」に弁別する。

言い換えれば、送出される超音波の周波数が５ＭＨｚ及び２ＭＨｚのとき、反射信号が受波されない場合、且つ、送出される超音波の周波数が１．５ＭＨｚのとき、反射信号強度が受波される場合に、検出される表面欠陥Ｋの深さを「深さランク３」に弁別する。

【００５２】

また、送出される超音波の周波数全て（５ＭＨｚ、２ＭＨｚ、１．５ＭＨｚ）で反射信号が受波されると共に、その反射信号強度が予め設定された閾値以上である場合に、検出される表面欠陥Ｋの深さも「深さランク３」に弁別する。

そして、上記した深さランク１～３以外のものは、「深さランク外」として弁別する。

このように、超音波探傷手段２にて探傷された表面欠陥Ｋの深さを、超音波探傷手段２で得られた表面欠陥Ｋの探傷結果を基に、表面欠陥Ｋの深さごとに区分けされた深さランクに弁別する。

【００５３】

次に、上記した深さランクを用いて、表面欠陥Ｋの深さを弁別した結果について、図に基づいて説明する。

図４は、磁粉探傷手段１２で検出した表面欠陥Ｋに対して超音波探傷を実施し、その超音波探傷手段２で得られた各周波数における反射信号強度を基に、検出された表面欠陥Ｋの深さを表面欠陥深さ弁別手段１８にて、弁別した結果を示す図である。図４に示す縦軸は、弁別した表面欠陥Ｋの深さランクを示し、横軸は実際に表面欠陥Ｋの深さを測定した結果を示す。

【００５４】

図４に示すように、各周波数（５ＭＨｚ、２ＭＨｚ、１．５ＭＨｚ）で被検査体Ｗの表面及び表面皮下を探傷したときに受波される、深さランク１に相当する反射信号強度を基に得られた探傷結果が、深さランク１を示す横軸上に弁別されている（◆印）。同様に、各周波数で被検査体Ｗの表面及び表面皮下を探傷したときに受波される、深さランク２に

相当する反射信号強度を基に得られた探傷結果が、深さランク２を示す横軸上に弁別されている（▲印）。同様に、各周波数で被検査体Ｗの表面及び表面皮下を探傷したときに受波される、深さランク３に相当する反射信号強度を基に得られた探傷結果が、深さランク３を示す横軸上に弁別されている（●印）。

【００５５】

ここで、図４の弁別された探傷結果Ａを見てみると、この探傷結果Ａは、深さランク２に相当する反射強度が得られ、その反射強度から深さランク２に弁別される。深さランク２は、深さが０．５～１．０ｍｍの範囲内の表面欠陥Ｋと推定されるものである。一方で、実際に疵深さを測って表面欠陥Ｋの深さを検出した場合、探傷結果Ａに関しては、表面欠陥Ｋの深さが約０．８ｍｍと検出されている。つまり、探傷結果Ａは、表面欠陥Ｋの深さと深さランクが一致するものとなっている（弁別成功）。

【００５６】

このように弁別成功とされた結果は、図４中の原点と右上を結ぶ対角線付近に分布するようになり、図４中の破線で囲まれた領域が「弁別成功」とされる。

一方で、弁別された探傷結果Ｂ（図４中で一点鎖線）を見てみると、この探傷結果Ｂは、実際の表面欠陥Ｋの深さが浅いもの（約０．５５ｍｍ）であるが、深さランク３（１．０ｍｍ以上の比較的深い表面欠陥Ｋ）に相当する反射強度が得られており、疵深さと深さランクが一致しない場合である。

【００５７】

探傷結果Ｂの場合、浅い疵にも拘わらず、深さランク３に相当する反射強度が得られていることから、「過弁別」、すなわち実際の疵深さ以上に深い疵と同定されている可能性がある。図４中の原点と右上を結ぶ対角線より、上側の領域にプロットされる探傷結果が、過弁別に該当する。

また、弁別された探傷結果Ｃ（図４中で実線）を見てみると、この探傷結果Ｃは、実際の表面欠陥Ｋの深さが深いもの（約１．２ｍｍ）であるが、深さランク２（０．５ｍｍ～１．０ｍｍの範囲内の深さ）に相当する反射強度が得られており、疵深さと深さランクが一致しない場合である。

【００５８】

探傷結果Ｃの場合、深い疵にも拘わらず、深さランク２に相当する反射強度が得られていることから、「誤弁別」、すなわち実際の疵深さより浅い疵と同定されている可能性がある。図４中の原点と右上を結ぶ対角線より、下側の領域にプロットされる探傷結果が、誤弁別に該当する。

つまり、「誤弁別」及び「過弁別」は、被検査体Ｗを検査する上で、問題となるものである。「過弁別」は、表面欠陥Ｋが浅いにもかかわらず深いものとして検出され、問題ではあるが、被検査体Ｗの表面に存在する表面欠陥Ｋ（表面疵）を除去することができる。一方、「誤弁別」は、表面欠陥Ｋが深いにもかかわらず浅いものとして検出され、被検査体Ｗの表面に存在する表面欠陥Ｋを除去する際に設定される切削深さが浅いので、表面欠陥Ｋが除去できない虞がある。それゆえ、「誤弁別」と検出された表面欠陥Ｋにおいては、その表面欠陥Ｋを再検査するなどして、弁別が成功するように対応すればよい。

【００５９】

以上より、本発明に係る被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１によれば、磁粉探傷手段１２で得られた探傷結果と、超音波探傷手段２で得られた探傷結果と用いることで 図４に示すように、超音波探傷を行ったほとんどの検査結果が、「弁別成功」に属するものとなっていることがわかり、被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さを高い確率で弁別することが可能である。

【００６０】

上記で詳説したように、本実施形態に係る被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１を用いる際には、超音波探傷手段２により得られた信号波形を基に表面欠陥Ｋの深さを検出すると共に、表面欠陥深さ弁別手段１８にて深さランクを求める。

「表面欠陥Ｋの深さ」と「深さランク」が一致した場合は、表面欠陥Ｋの深さが正確に

求められていると考えることができる。

【００６１】

このようにして表面欠陥Ｋを正確に同定することで、後工程での表面欠陥Ｋの除去を効率的、且つ確実に行うことができる。さらに、製品の生産性の向上、切削装置の替え刃を交換する回数を削減するといったコスト削減にも繋がるようになる。

［変形例］

次に、本発明に係る被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１に変形例について、図を基に説明する。

【００６２】

図５に示すように、本発明に係る被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１の変形例は、磁粉探傷手段１２と超音波探傷手段２の配置位置が上記した本発明の弁別装置１と大きく異なっている。つまり、本変形例は、検査ラインの上流側に磁粉探傷手段１２が配置され、磁粉探傷手段１２の下流側に超音波探傷手段２が配置されている点が、上記した本発明の弁別装置１と異なっている。

【００６３】

被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別装置１の変形例の配置位置以外の部分は、上記した本発明の弁別装置１（図１参照）とほぼ同じである。

なお、本変形例におけるその他の構成、奏する作用効果は、上記した本発明の弁別装置１及び弁別方法と略同じであるため、その説明は省略する。

以上述べたように、本発明の被検査体Ｗの表面欠陥深さの弁別方法及びその装置１によれば、磁粉探傷法で得られた被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの探傷結果と、表面波探傷法で得られた被検査体Ｗの表面欠陥の探傷結果とを用いて、当該被検査体Ｗの表面欠陥Ｋの深さを評価して、被検査体Ｗに存在する表面欠陥Ｋの深さを、正確且つ確実に弁別することができる。

【００６４】

なお、今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。

例えば、本実施形態では、深さランクを３つに区分けしてものとして説明したが、検査対象となる被検査体Ｗの探傷方法に応じて、深さランクの数を適宜変更してもよい。

また、本実施形態では、変更可能な超音波の周波数を１．５ＭＨｚ、２ＭＨｚ、５ＭＨｚの３種類の場合例に挙げて説明しているが、変更可能な超音波の周波数は、弁別する表面欠陥Ｋの深さによって適宜選択すればよく、また用いる周波数の数も２つ以上であるならば特に限定しない。

【００６５】

特に、今回開示された実施形態において、明示的に開示されていない事項、例えば、運転条件や操業条件、各種パラメータ、構成物の寸法、重量、体積などは、当業者が通常実施する範囲を逸脱するものではなく、通常の当業者であれば、容易に想定することが可能な値を採用している。

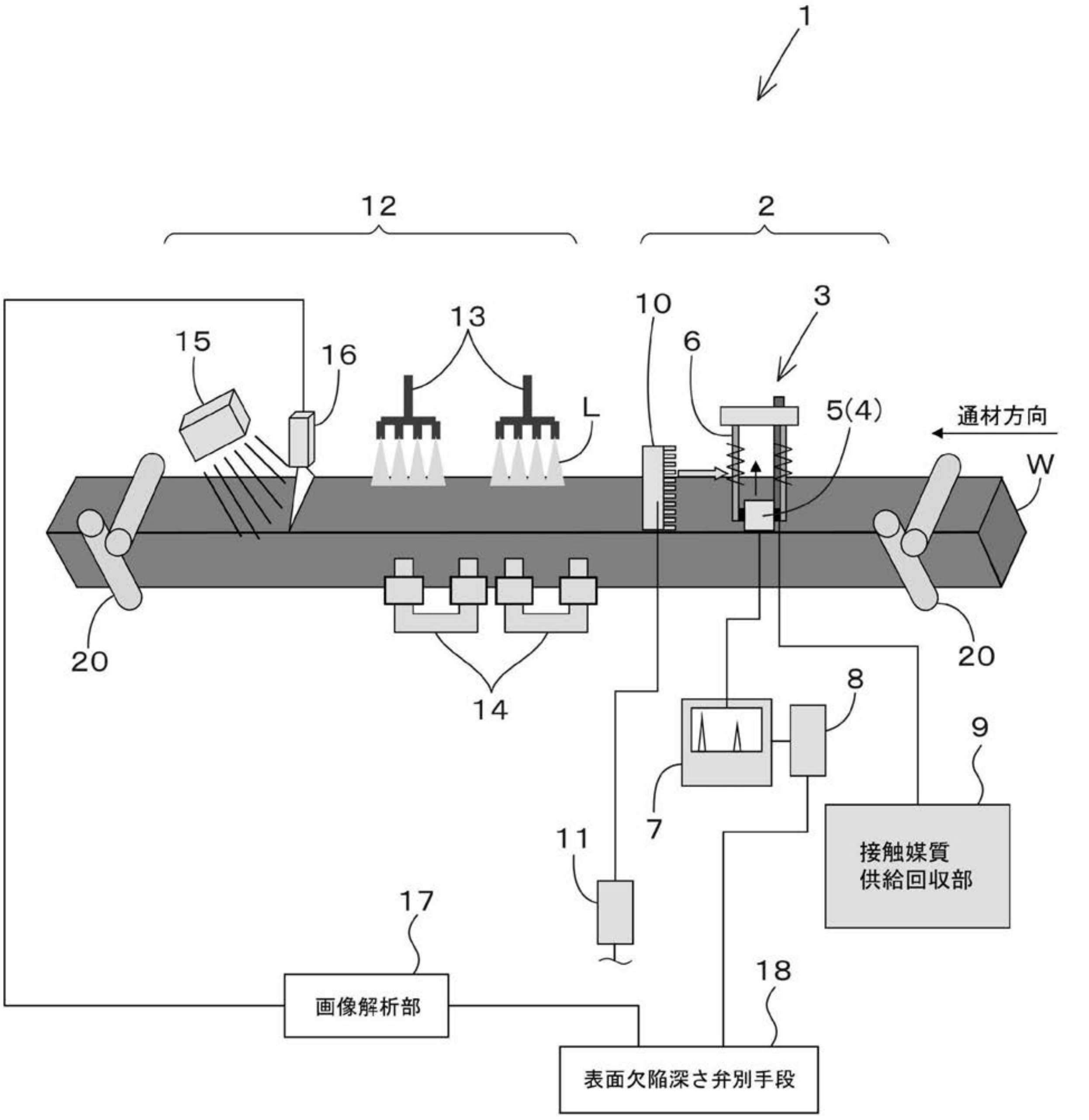
【符号の説明】

【００６６】

１　弁別装置
２　超音波探傷手段（表面波探傷手段）
３　センサヘッド
４　探触子
５　センサホルダ
６　ホルダ支持体
７　超音波探傷器
８　信号記録処理部
９　接触媒質供給回収部
１０　エアブロア

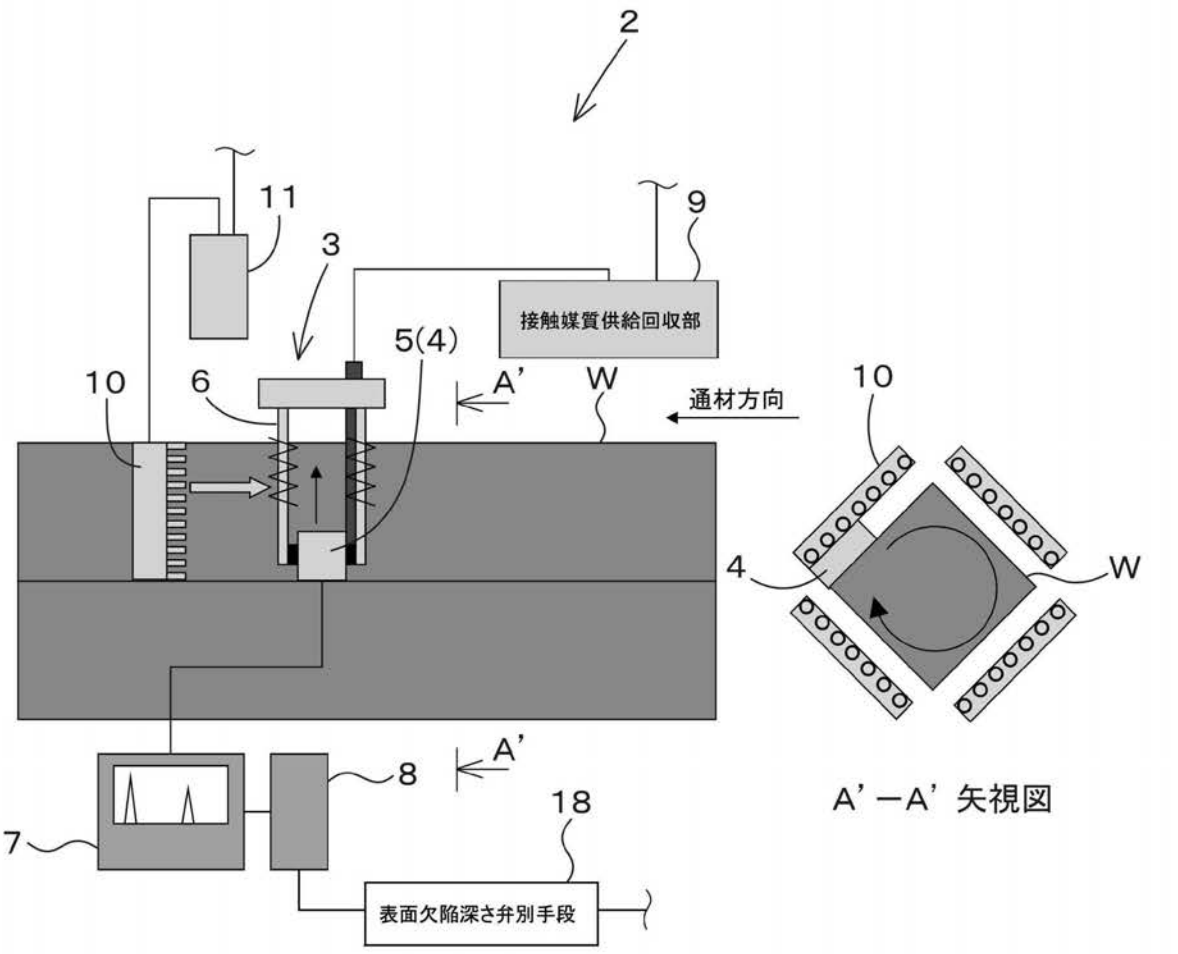
１１　エア供給部
１２　磁粉探傷手段
１３　磁粉液散布部
１４　磁化器
１５　照明部
１６　撮像部
１７　画像解析部
１８　表面欠陥深さ弁別手段
２０　搬送部
Ｌ　磁粉液
Ｋ　表面欠陥（表面疵）
Ｗ　被検査体

【図１】

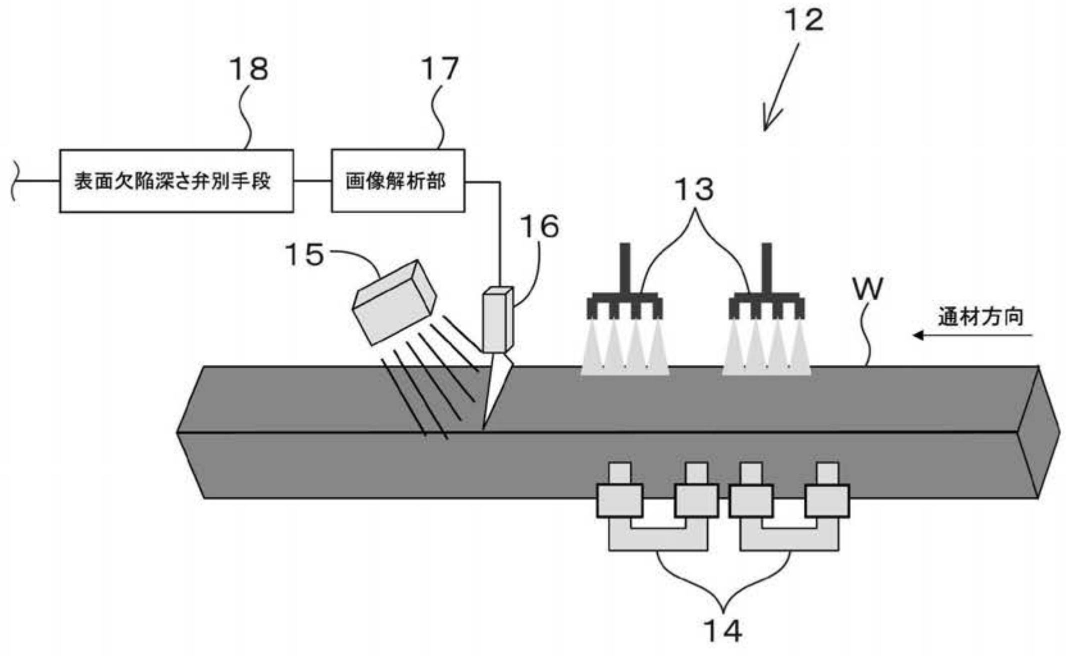

1
12
2
13
10
3
15
16
6
L
5(4)
通材方向
W
20
20
14
8
9
7
11
接触媒質
供給回収部
17
18
画像解析部
表面欠陥深さ弁別手段

【図２】

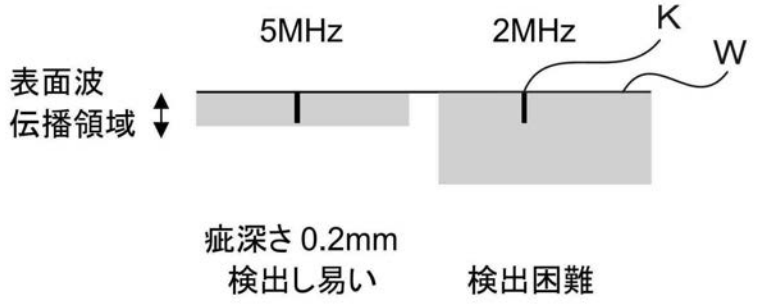
（a）


2
11
9
3
接触媒質供給回収部
5(4)
10
6
A'
W
通材方向
10
4
W
A'
8
18
7
A'−A' 矢視図
表面欠陥深さ弁別手段

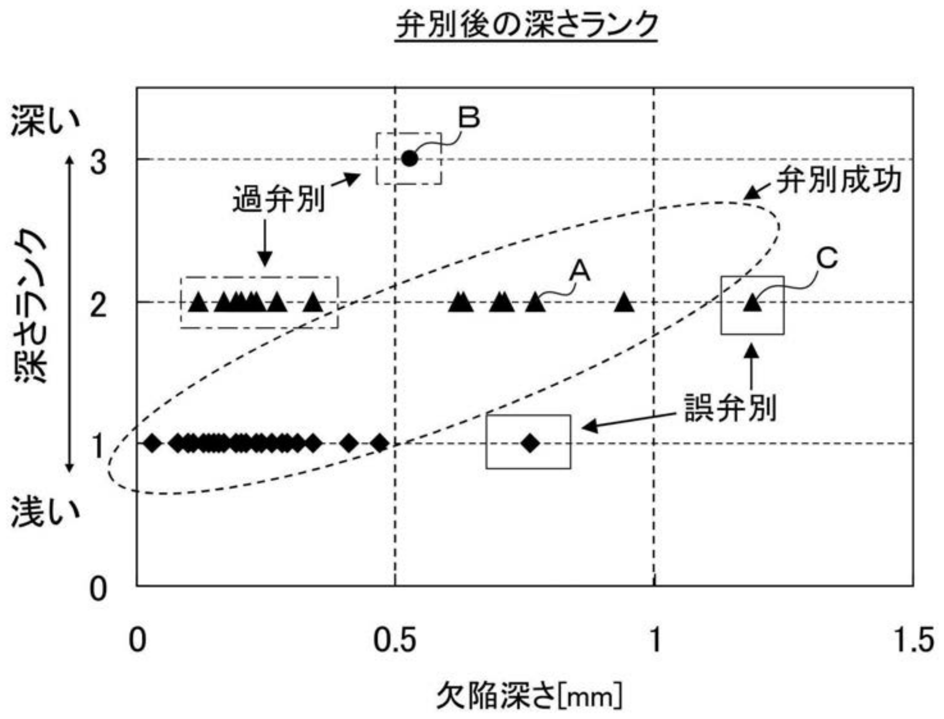
（b）


12
18
17
表面欠陥深さ弁別手段
画像解析部
13
16
15
W
通材方向
14

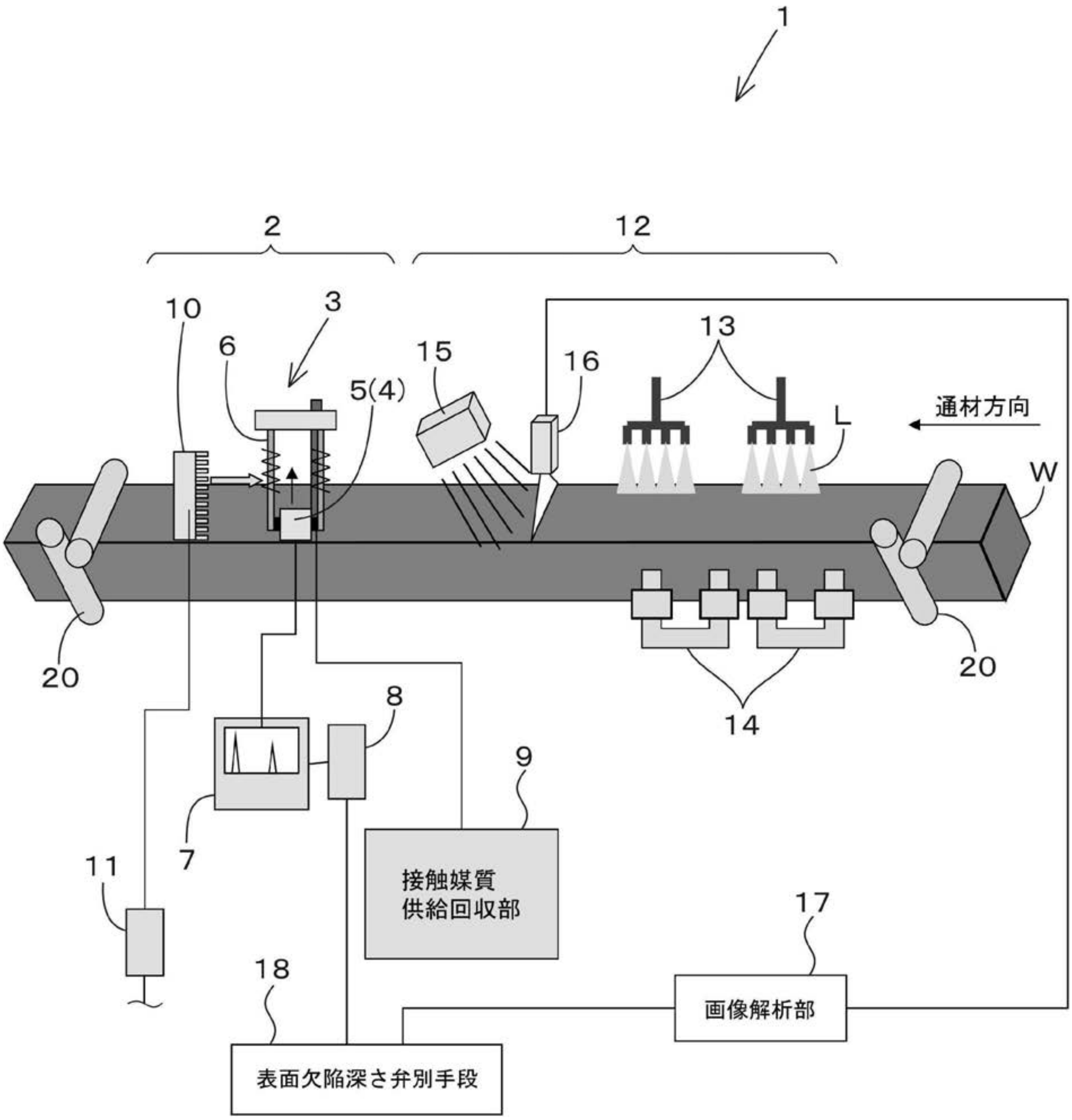
【図３】


5MHz
2MHz
K
W
表面波
伝播領域
疵深さ 0.2mm
検出し易い
検出困難

【図４】


弁別後の深さランク
深い
浅い
深さランク
3
2
1
0
B
過弁別
弁別成功
A
C
誤弁別
0
0.5
1
1.5
欠陥深さ[mm]

【図５】


1
2
12
10
3
6
5(4)
15
16
13
L
通材方向
W
20
20
14
8
9
7
11
接触媒質
供給回収部
17
18
画像解析部
表面欠陥深さ弁別手段

フロントページの続き

(72)発明者　和佐　泰宏
兵庫県神戸市西区高塚台１丁目５番５号　株式会社神戸製鋼所　神戸総合技術研究所内

Ｆターム(参考) 2G047 AA06 AB01 AB02 BA03 BC10 BC18 CA01 CA07 GA18 GB03
GB17 GE01
2G051 GB02 GC01 GC04
2G053 AA02 AA11 AB10 BA02 BA12 BA13 CA12 CA20