(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 10 月 1 日(01.10.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/145833 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 27/72 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/076901

(22) 国際出願日: 2014 年 10 月 8 日(08.10.2014)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2014-060368 2014 年 3 月 24 日(24.03.2014) JP

(71) 出願人: 新東工業株式会社(SINTOKOGIO, LTD.) [JP/JP]; 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦一丁目１１番１１号 Aichi (JP).

(72) 発明者: 牧野 良保(MAKINO Yoshiyasu); 〒4428505 愛知県豊川市穂ノ原３丁目１番地 新東工業株式会社 豊川製作所内 Aichi (JP). 加賀秀明(KAGA Hideaki); 〒4411205 愛知県豊川市大木町小牧１８０番地１ 新東工業株式会社 一宮事業所内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 辻居 幸一, 外(TSUJII Koichi et al.); 〒1008355 東京都千代田区丸の内３丁目３番１号 新東京ビル 中村合同特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[続葉有]

(54) **Title**: SURFACE CHARACTERISTIC INSPECTION METHOD AND SURFACE CHARACTERISTIC INSPECTION DEVICE

(54) 発明の名称 : 表面特性検査方法及び表面特性検査装置

FIG.1

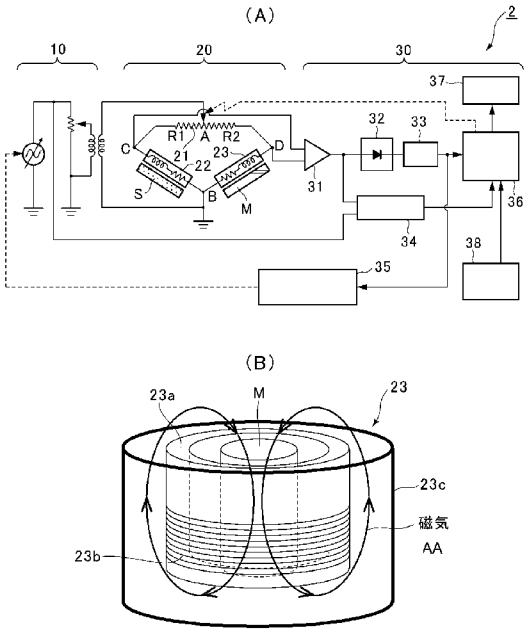


FIG. 1:
AA Magnetism

(57) **Abstract**: Provided are a surface characteristic inspection method and surface characteristic inspection device that are for inspecting the surface characteristics of a subject having been subjected to two-stage shot peening and make it possible to determine, using one inspection after the completion of second-stage shot peening, whether appropriate residual stress has been produced in first-stage shot peening. The surface characteristic inspection device (1) is provided with an AC power supply (10), an AC bridge circuit (20), and an evaluation device (30). The AC bridge circuit (20) is configured from a variable resistor (21) having a variable distribution ratio (γ), a reference detector (22), and an inspection detector (23). The inspection detector (23) is provided with a coil (23b) that is wound so as to oppose the surface characteristic inspection region of a subject (M) and induces eddy currents in the subject (M) by supplying the AC power from the AC power supply (10) to the coil (23b). It is possible to evaluate the first shot peening by only inspecting the surface characteristics of the subject having been subjected to two-stage shot peening after the completion of the second shot peening.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/145833 A1

MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

２段ショットピーニング処理が施された被検体の表面特性を検査する表面特性検査方法及び表面特性検査装置において、１段目のショットピーニング処理において残留応力が適切に付与されているかどうかを２段ショットピーニング処理の終了後に１回の検査で判断することができる表面特性検査方法及び表面特性検査装置を提供する。　表面特性検査装置１は、交流電源１０、交流ブリッジ回路２０及び評価装置３０を備え、交流ブリッジ回路２０は、分配比γが可変な可変抵抗２１、基準検出器２２及び検査検出器２３により構成されている。検査検出器２３は、被検体Ｍの表面特性検査領域に対向するように巻回されたコイル２３ｂを備えており、交流電源１０からの交流電力をコイル２３ｂに供給することにより被検体Ｍに渦電流を励起する。２段ショットピーニング処理が施された被検体の表面特性を、第２ショットピーニング処理後にのみ検査することにより、第１ショットピーニング処理の良否を判断することができる。

明　細　書

発明の名称 ： 表面特性検査方法及び表面特性検査装置

技術分野

[0001] 本発明は、疲労強度向上等を目的に条件の異なる２段階のショットピーニング処理が施された鋼材製品等の被検体の表面特性を検査する表面特性検査方法及び表面特性検査装置に関する。

背景技術

[0002] 従来より、自動車部品、金型等の鋼材製品に対し、表面に圧縮残留応力を付与することにより疲労強度向上等を行う目的にショットピーニング処理が行われている。

[0003] このようなショットピーニング処理として、大きい投射材を用い比較的強度の高いピーニング条件でショットピーニング処理を行った後に、これより低強度のピーニング条件でショットピーニング処理を行い、残留応力分布の最適化を図る２段ピーニングが行われている。

[0004] 例えば、特許文献１には、熱処理後の金型（鋼材製品）に対して、所定硬度・粒子径、の球状投射材（ショット）により、適宜、その硬度・粒子径を変えて、複数回のピーニング処理を行う技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平１０－２１７１２２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] このような２段ピーニングが適正に行われたか否かを判定する方法として、２段目のピーニング処理後に触針型表面粗さ測定器による検査、レーザー顕微鏡による粗さ検査、Ｘ線応力測定を行う方法が採用されているが、いずれも測定時間がかかり、全数検査を行うことが困難である。また、表面処理を行った面全体の評価を行うことができない。さらに、最初に行う１段目の

ピーニング処理が適切に行われたか否かを判定することができないという問題がある。ここで、１段目のピーニング処理が適切に行われていない場合として、１段目のピーニング処理を実施しなかった場合、所望の残留応力が付与されていない場合など、が考えられる。

目視検査では、1段目のピーニング処理有無を判定するのは困難であり、1段目のピーニング処理と２段目のピーニング処理後にそれぞれ目視検査を行うと検査工数が増大してしまう。

[0007] そこで、本発明は、２段ショットピーニング処理が施された被検体の表面特性を検査する表面特性検査方法及び表面特性検査装置において、１段目のショットピーニング処理において残留応力が適切に付与されているかどうかを２段ショットピーニング処理の終了後に１回の検査で判断することができる表面特性検査方法及び表面特性検査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

[0008] 上記目的を達成するために、請求項１に記載の発明では、ショットピーニング処理された被検体の表面特性を検査する表面特性検査方法であって、交流ブリッジ回路と、前記交流ブリッジ回路に交流電力を供給する交流電源と、前記交流ブリッジ回路からの出力信号に基づいて、被検体の表面特性を評価する評価装置と、を備え、前記交流ブリッジ回路は、第１の抵抗と第２の抵抗とに分配比が可変に構成された可変抵抗と、交流磁気を励起可能なコイルを備え被検体に渦電流を励起するように当該コイルを配置可能に形成された検査検出器と、被検体と同一構造の基準検体を配置し、前記検査検出器からの出力と比較する基準となる基準状態を検出する基準検出器とを有し、前記第１の抵抗、前記第２の抵抗、前記基準検出器及び前記検査検出器がブリッジ回路を構成する表面特性検査装置を用意する検査装置準備工程と、前記評価装置における被検体の表面特性の評価に使用するしきい値を決定するしきい値設定工程と、表面から深部に残留応力を付与する第１ショットピーニング処理と、前記第１ショットピーニング処理後に前記第１ショットピーニング処理よりも低強度のショットピーニングを行い表面近傍に更に残留応力

を付与する第２ショットピーニング処理と、が施された被検体に、前記検査検出器によって渦電流を励起する渦電流励起工程と、前記第２ショットピーニング処理後に実施された前記渦電流励起工程において前記交流ブリッジ回路から出力された出力信号と前記しきい値とを比較して、前記第１ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを前記評価装置により判断する良否判断工程と、を有する、という技術的手段を用いる。

[0009] 請求項１に記載の発明によれば、検査検出器のコイルにより被検体に渦電流を励起し、交流ブリッジ回路から出力された出力信号としきい値とを比較することにより被検体の表面特性を評価することができる。これにより、簡単な回路構成で高精度の表面状態の検査が可能である。また、被検体に渦電流を励起して表面特性を検査する方式を採用するため、検査環境の温度変化の影響を小さくすることができる。

基準検出器において基準状態を検出するために、被検体と同一構造の基準検体を用いているため、温度、湿度、磁気などの検査環境の変化により出力値が変動しても、その影響は被検体と同等になる。これにより、温度、湿度、磁気などの検査環境の変化による出力値の変動をキャンセルすることができ、測定精度を向上させることができる。

第１ショットピーニング処理と第２ショットピーニング処理との２段ショットピーニング処理が施された被検体の表面特性を、第２ショットピーニング処理後にのみ検査することにより、深部、例えば、表面から３０～１００μｍ程度までの範囲で、残留応力が適正に付与されたか否かを検査することができ、第１ショットピーニング処理の良否を判断することができる。これによれば、２段ショットピーニング処理の終了後の１回の検査で２段ピーニング処理が適正に行われているかを判断できるため、検査時間を短縮することができる。また、迅速な検査を非破壊で行うことができ、インラインの検査としても好適に用いることができる。

ここで、「同一構造」とは、材質、形状が同一のことを意味し、表面処理の有無を問わない。表面特性とは、「被検体の最表面から内面の影響層まで

の特性」のことをいう。また、「第１ショットピーニング処理が適正に行われたか否か」とは、第１ショットピーニング処理の良否とともに、第１ショットピーニング処理が実施されているか否かも含めた概念である。

[0010] 請求項２に記載の発明では、請求項１に記載の表面特性検査方法において、前記渦電流励起工程は、前記基準検体として、表面処理を施していない未処理品を前記基準検出器に配置した状態で実施される、という技術的手段を用いる。

[0011] 請求項２に記載の発明のように、基準検体として表面処理を施していない未処理品を用いると、被検体との表面状態の差に基づいた出力を大きくすることができるので、更に測定精度を向上させることができるとともに、しきい値を設定しやすく、好ましい。

[0012] 請求項３に記載の発明では、請求項１または請求項２に記載の表面特性検査方法において、前記しきい値設定工程は、前記第１ショットピーニング及び前記第２ショットピーニング処理が適正に行われた被検体に渦電流を励起した際の前記交流ブリッジ回路の出力信号に基づいて前記しきい値を設定する、という技術的手段を用いる。

[0013] 請求項３に記載の発明によれば、しきい値の設定を第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理が適正に行われた被検体の出力特性に基づいて行うため、第１ショットピーニング処理、第２ショットピーニング処理がともに適正に行われた否かを正確に判断することができる。

[0014] 請求項４に記載の発明では、請求項１ないし３のいずれか１つに記載の表面特性検査方法において、更に、前記渦電流励起工程よりも高い周波数の交流電力を前記交流電源によって供給して、被検体に渦電流を励起する第２渦電流励起工程と、この第２渦電流励起工程により渦電流が励起されているときの前記交流ブリッジ回路の出力信号に基づいて、前記第２ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを前記評価装置により判断する第２良否判断工程と、を備えた、という技術的手段を用いる。

[0015] 本発明の表面特性検査方法においては、交流ブリッジ回路に供給される交

流電力の周波数が高い程、表面近傍の残留応力の状態を反映した情報が得られ、交流電力の周波数が低い程、表面から深い領域の残留応力の状態を反映した情報が得られる。請求項４に記載の発明のように、交流ブリッジ回路に供給される交流電力の周波数を低く設定することにより、第１ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査を行うことができ、周波数を高く設定することにより、第２ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査を行うことができる。これらの検査を組み合わせて行うことにより、第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理がそれぞれ適正に行われたか否かを判断することができるので、より正確な検査が可能となる。また、いずれのショットピーニング処理が不適正であったかを区別して判断することができる。

[0016] 請求項５に記載の発明では、請求項４に記載の表面特性検査方法において、前記しきい値設定工程は、所定の第１周波数の交流電力を前記交流ブリッジ回路に供給して得られた出力信号に基づいて決定されるしきい値、及び前記第１周波数よりも高い第２周波数の交流電力を前記交流ブリッジ回路に供給して得られた出力信号に基づいて決定される第２しきい値を決定し、前記しきい値は前記良否判断工程における良否判断に使用され、前記第２しきい値は前記第２良否判断工程における良否判断に使用される、という技術的手段を用いる。

[0017] 請求項５に記載の発明によれば、第１ショットピーニング処理の検査で用いられるしきい値及び前記第２ショットピーニング処理の検査で用いられる第２しきい値は、検査で用いる周波数に応じてそれぞれ設定されるため、第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理が適正に行われた否かを正確に判断することができる。

[0018] 請求項６に記載の発明では、請求項４に記載の表面特性検査方法において、前記第２良否判断工程は、前記良否判断工程よりも前に実施される、という技術的手段を用いる。

[0019] 周波数が高い方が検査時における出力値の応答速度が速いため、請求項６

に記載の発明のように、供給する交流電力の周波数が高い第２ショットピーニング処理の検査を先に行うと、検査に要する時間を短縮することができる。

[0020] 請求項７に記載の発明では、請求項３または請求項５に記載の表面特性検査方法において、前記しきい値設定工程は、前記検査検出器に未処理の被検体を配置したときの前記交流ブリッジ回路の出力信号ＥＡ、及び前記検査検出器に前記第１ショットピーニング及び前記第２ショットピーニング処理が適正に行われた被検体を配置したときの前記交流ブリッジ回路の出力信号ＥＢに基づいて、下式によりしきい値Ｅｔｈｉを設定する、という技術的手段を用いる。

Ｅｔｈｉ＝（ＥＡav・σＢ＋ＥＢav・σＡ）／（σＡ＋σＢ）

ＥＡav：出力信号ＥＡの平均値、ＥＢav：出力信号ＥＢの平均値、σＡ：出力信号ＥＡの標準偏差、σＢ：出力信号ＥＢの標準偏差

[0021] 請求項７に記載の発明によれば、少ない測定数により精度の高い適切な初期しきい値を設定することができる。

[0022] 請求項８に記載の発明では、請求項１ないし請求項７のいずれか１つに記載の表面特性検査方法において、前記評価装置は記憶手段を備え、この記憶手段には、各被検体の識別情報と該被検体の表面特性の検査データが関連付けて記憶される、という技術的手段を用いる。

[0023] 請求項８に記載の発明によれば、ロット、製造番号、履歴などの各被検体の識別情報を、測定値、良否判断結果、測定日時、検査状態などの検査データと関連付けて記憶させておくことができるので、表面特性検査装置により検査した被検体の表面処理の状態を流通後に追跡可能な状態にすることができ、トレーサビリティを担保することができる。

[0024] 請求項９に記載の発明では、ショットピーニング装置により表面から深部に残留応力を付与する第１ショットピーニング処理と、前記第１ショットピーニング処理後に前記第１ショットピーニング処理よりも低強度のショットピーニングを行い表面近傍に更に残留応力を付与する第２ショットピーニン

グ処理と、が施された被検体の表面特性を検査する表面特性検査装置であって、交流ブリッジ回路と、前記交流ブリッジ回路に交流電力を供給する交流電源と、前記交流ブリッジ回路からの出力信号に基づいて、被検体の表面特性を評価する評価装置と、を備え、前記交流ブリッジ回路は、第１の抵抗と第２の抵抗とに分配比が可変に構成された可変抵抗と、交流磁気を励起可能なコイルを備え被検体に渦電流を励起するように当該コイルを配置可能に形成された検査検出器と、被検体と同一構造の基準検体を配置し、前記検査検出器からの出力と比較する基準となる基準状態を検出する基準検出器とを有し、前記第１の抵抗、前記第２の抵抗、前記基準検出器及び前記検査検出器はブリッジ回路を構成し、前記評価装置は、前記第２ショットピーニング処理後にのみ、前記交流ブリッジ回路に交流電力が供給され、前記検査検出器が前記被検体の電磁気特性を検出し、前記基準検出器が基準状態を検出している状態における前記交流ブリッジ回路からの出力信号としきい値とを比較して、前記被検体の表面特性を評価し、前記被検体に対する前記第１ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを判断する、という技術的手段を用いる。

[0025] 請求項９に記載の発明によれば、検査検出器のコイルにより被検体に渦電流を励起し、交流ブリッジ回路から出力された出力信号としきい値とを比較することにより被検体の表面特性を評価することができる。これにより、簡単な回路構成で高精度の表面状態の検査が可能である。また、被検体に渦電流を励起して表面特性を検査する方式を採用するため、検査環境の温度変化の影響を小さくすることができる。

基準検出器において基準状態を検出するために、被検体と同一構造の基準検体を用いているため、温度、湿度、磁気などの検査環境の変化により出力値が変動しても、その影響は被検体と同等になる。これにより、温度、湿度、磁気などの検査環境の変化による出力値の変動をキャンセルすることができ、測定精度を向上させることができる。

第１ショットピーニング処理と第２ショットピーニング処理との２段ショ

ットピーニング処理が施された被検体の表面特性を、第２ショットピーニング処理後にのみ検査することにより、深部、例えば、表面から３０～１００μｍ程度までの範囲で、残留応力が適正に付与されたか否かを検査することができ、第１ショットピーニング処理の良否を判断することができる。これによれば、２段ショットピーニング処理の終了後の１回の検査で２段ピーニング処理が適正に行われているかを判断できるため、検査時間を短縮することができる。また、迅速な検査を非破壊で行うことができ、インラインの検査としても好適に用いることができる。

[0026] 請求項１０に記載の発明では、請求項９に記載の表面特性検査装置において、前記基準検体は、表面処理を施していない未処理品である、という技術的手段を用いる。

[0027] 請求項１０に記載の発明のように、基準検体として表面処理を施していない未処理品を用いると、被検体との表面状態の差に基づいた出力を大きくすることができるので、更に測定精度を向上させることができるとともに、しきい値を設定しやすく、好ましい。

[0028] 請求項１１に記載の発明では、請求項９または請求項１０に記載の表面特性検査装置において、前記コイルは、リッツ線により形成されている、という技術的手段を用いる。

[0029] 請求項１１に記載の発明によれば、コイルが、銅線等の導体素線をエナメル等にて覆い絶縁した複数の細い導体素線を集めて撚合わせたリッツ線を用いて形成されているため、導体の細分化によって導体表面積を大きくして、導体損失を軽減し、良好な検査感度を維持することができる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]表面特性検査装置の構成を示す説明図である。図１（Ａ）は表面特性検査装置の回路構成を示す説明図であり、図１（Ｂ）は検査検出器の構成を示す透視説明図である。

[図2]交流ブリッジ回路からの出力について説明する等価回路図である。

[図3]表面特性検査方法を示すフローチャートである。

[図4]初期しきい値の設定方法を説明する説明図である。

[図5]測定値の校正方法を示すフローチャートである。

[図6(A)]被検体の配置から測定開始までの出力値の変化を示す説明図である。

[図6(B)]測定終了から被検体の取出しまでの出力値の変化を示す説明図である。

[図7(A)]被検体の配置から測定開始までのステップを示すフローチャートである。

[図7(B)]測定終了から被検体の取出しまでのステップを示すフローチャートである。

[図8]第２実施形態の表面特性検査方法を示すフローチャートである。

[図9(A)]第２実施形態の表面特性検査において被検体の配置から測定終了までの出力値の変化を示す説明図であり、第２ショットピーニング処理検査工程を行った後に第１ショットピーニング処理検査工程を行う場合の出力値の変化を示す説明図である。

[図9(B)]第２実施形態の表面特性検査において被検体の配置から測定終了までの出力値の変化を示す説明図であり、第１ショットピーニング処理検査工程を行った後に第２ショットピーニング処理検査工程を行う場合の出力値の変化を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0031] ［第１実施形態］

（２段ショットピーニング）

本発明において表面特性を検査される被検体に施されている表面処理は、比較的高強度のショットピーニングにより表面から所定の深さ以上の領域（以下、深部、という）まで残留応力を付与する第１ショットピーニング処理と、第１ショットピーニング処理後に、第１ショットピーニング処理よりも低強度のショットピーニングにより表面近傍に更に残留応力を付与する第２ショットピーニングである。以下は、被処理材として、ギヤＧに２段ショッ

トピーニング処理を施す場合について説明する。

[0032] ここで、第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理は、公知のショットピーニング装置、例えば、直圧式エアノズルを備えたショットピーニング装置を用いて行われる。

[0033] 第１ショットピーニング処理では、深部、例えば、表面から３０μｍ～１００μｍ程度の深さまで圧縮残留応力を付与する。

[0034] 第１ショットピーニング処理は、比較的粒径が大きく高硬度の投射材（ショット）などを高速度で被処理材に衝突させて行われる。

[0035] 投射材は、ビッカース硬さＨＶ５００～８５０、粒径０．５～４．０㎜の範囲から適宜選定された、スチールなどを用いることができる。また、投射条件としては、例えば、直圧式ショットピーニング装置を用いた場合、投射圧は０．０５～０．７ＭＰａ、投射量最大２０ｋｇ／ｍｉｎノズルという高強度の条件を採用することができる。ビッカース硬さの数値はＪＩＳＺ２２４４（２００９）により記載された試験方法で測定されたものである。

[0036] 例えば、投射材は粒径０．６ｍｍ、硬さＨＶ５８０のものを用い、投射圧０．３ＭＰａ、投射量１３ｋｇ／ｍｉｎ、投射時間１０秒でショットピーニング処理を行うことができる。

[0037] 第２ショットピーニング処理では、第１ショットピーニング処理よりも小さな投射材を用いてショットピーニング処理を行い、表面近傍、例えば表面から３０μｍ程度の深さに、更に残留応力を付与する。

[0038] 第２ショットピーニング処理で用いる投射材は、第１ショットピーニング処理で用いる投射材よりも小さな投射材を採用し、投射材は、ビッカース硬さＨＶ５００～１２００、粒径０．０５～０．５㎜の範囲から適宜選定された、スチールなどを用いることができる。

また、投射条件としては、例えば、直圧式ショットピーニング装置を用いた場合、投射圧は０．０５～０．７ＭＰａ、投射量最大２０ｋｇ／ｍｉｎノズル、という条件を採用することができる。第２ショットピーニング処理で用いる投射材は、第１ショットピーニング処理で用いる投射材よりも小さいの

で、第２ショットピーニング処理は第１ショットピーニング処理よりも低強度のショットピーニング処理となる。

[0039] 例えば、投射材は粒径０．０５ｍｍ、硬さＨＶ９００のものを用い、投射圧０．２ＭＰａ、投射量１０ｋｇ／ｍｉｎ、投射時間１０秒でショットピーニング処理を行うことができる。

[0040] （表面特性検査装置）

図１（Ａ）に示すように、本発明の実施形態による表面特性検査装置１は、交流電源１０、交流ブリッジ回路２０及び評価装置３０を備えている。

[0041] 交流電源１０は、交流ブリッジ回路２０に周波数が可変の交流電力を供給可能に構成されている。

[0042] 交流ブリッジ回路２０は、可変抵抗２１、被検体Ｍに渦電流を励起するようにコイルを配置可能に形成された検査検出器２３及び被検体Ｍと同一構造の基準検体Ｓを配置可能に形成され、検査検出器２３からの出力と比較する基準となる基準状態を検出する基準検出器２２を備えている。ここで、「被検体Ｍと同一構造」とは、材質、形状が同一のことを意味し、表面処理の有無を問わない。

[0043] 可変抵抗２１は、抵抗R_Aを抵抗Ｒ１と抵抗Ｒ２とに分配比γを可変に分配することができるように構成されている。抵抗Ｒ１、抵抗Ｒ２は、基準検出器２２及び検査検出器２３とともにブリッジ回路を構成している。本実施形態では、抵抗Ｒ１と抵抗Ｒ２とを分配する点Ａ及び基準検出器２２と検査検出器２３との間の点Ｂが評価装置３０の交流電源１０に接続され、抵抗Ｒ１と基準検出器２２との間の点Ｃ及び抵抗Ｒ２と検査検出器２３との間の点Ｄが増幅器３１に接続されている。また、ノイズの低減のため、基準検出器２２及び検査検出器２３側が接地されている。

[0044] 評価装置３０は、交流ブリッジ回路２０から出力される電圧信号を増幅する増幅器３１、全波整流を行う絶対値回路３２、直流変換を行うローパスフィルタ（ＬＰＦ）３３、交流電源１０から供給される交流電圧と増幅器３１から出力される電圧の位相を比較する位相比較器３４、交流電源１０から供

給される交流電圧の周波数を調整する周波数調整器３５、Ｒ１とＲ２の分配を最適化する非平衡調整を行うとともに、ＬＰＦ３３からの出力に基づいて被検体Ｍの表面状態の良否を判断する判断手段３６及び判断手段３６による判断結果を表示、警告する表示手段３７、評価位置の温度を検出する温度測定手段３８を備えている。また、判断手段３６内部または図示しない領域に記憶手段を備えている。

[0045] 増幅器３１は、点Ｃ及び点Ｄに接続され、点Ｃと点Ｄとの間の電位差が入力される。また、絶対値回路３２、ＬＰＦ３３の順に判断手段３６に接続されている。位相比較器３４は、交流電源１０、増幅器３１及び判断手段３６に接続されている。周波数調整器３５は、交流電源１０及び増幅器３１に接続されている。また、判断手段３６は、制御信号を出力することにより、交流ブリッジ回路２０の点Ａの位置、即ち、抵抗Ｒ１と抵抗Ｒ２の分配比γを変更することができるように構成されており、これにより、後述する可変抵抗設定工程が実行される。

[0046] 温度測定手段３８は、非接触式の赤外センサや熱電対などからなり、被検体Ｍの表面の温度信号を判断手段３６に出力する。判断手段３６は、温度測定手段３８で検出された被検体Ｍの温度が所定範囲内である場合に、被検体Ｍの表面処理状態の良否を判断し、温度測定手段３８で検出された温度が所定範囲外である場合に、被検体Ｍの表面処理状態の良否の判断を行わない。これにより、被検体Ｍの温度が検査の精度に影響を及ぼすような場合に被検体の表面処理状態の良否の判断を行わないようにすることができるので、精度の高い検査を行うことができる。ここで、熱電対などで評価位置Ｔｓの温度を測定し、被検体Ｍの表面の温度を代表する温度として被検体Ｍの表面処理状態の良否を判断するか否かの判断を行う構成を採用することもできる。

[0047] 検査検出器２３及び検査検出器２３と同様の構成の基準検出器２２として、被検体Ｍの評価部を挿通可能なコアの外周にコイルが巻回されて形成され、コイルを被検体Ｍの表面と対向させて近接させ被検体Ｍに渦電流を励起可能な検出器を用いる。すなわち、このコイルは、被検体の表面特性検査領域

を囲むように対向されて巻回されている。ここで、被検体の表面特性検査領域を囲むとは、少なくとも表面特性検査領域の一部を包囲する（包むよう囲む）ことで、表面特性検査領域に渦電流を励起することを含むことを意味している。

[0048] ここでは、被検体Ｍとして歯車部を備えた被検体、例えば、歯車部が表面処理されたギヤＧの表面特性を検査するために用いる検査検出器２３について説明する。検査検出器２３は、図１（Ｂ）に示すように、ギヤＧの歯車部を覆うように形成された円筒状のコア２３ａと、コア２３ａの外周面に巻回されたコイル２３ｂと、を備えている。コア２３ａは非磁性材料、例えば、樹脂により形成されている。なお、コア２３ａの形状は、ギヤＧを内側に配置できれば円筒状に限らない。なお、基準検出器２２では、被検体Ｍは配置されず、基準出力を出力するための基準検体Ｓを配置することができる。

[0049] 本発明の検査検出器２３は、渦電流の反応を高精度に捉えて表面特性を評価することを特徴としているため、表面特性を検査したい領域に渦電流が流れるように、被検体Ｍに対して配置することが好ましい。つまり、コイル２３ｂの巻方向が渦電流を流したい方向と同方向となるように配置することが好ましい。

[0050] ギヤＧはショットピーニング処理により歯車部に残留応力層が形成される。被検体ＭとしてギヤＧを評価する場合には、歯先だけではなく、歯面及び歯底の表面特性を評価することが好ましい。そのため、コイル２３ｂの巻方向がギヤＧの回転軸とほぼ直交するようにコイル２３ｂを配置するとよい。これにより、回転軸の方向に磁界ループが発生するため、ギヤＧの回転方向に渦電流を励起させることができるので、歯先だけではなく、歯面及び歯底の表面特性を評価することができる。従来の接触型の検出器では、歯の形状に合わせて数種類の検出器を用意する必要があるとともに、接触部近傍の表面特性しか検査することができなかったが、検査検出器２３によれば、単一の検出器で広い範囲の表面特性を一度に検査することができる。

[0051] 検査検出器２３は、コイル２３ｂが形状を維持できればコア２３ａを備え

ていなくてもよい。このようなコイル２３ｂは、例えば、硬化性のエポキシ樹脂等にて、空芯にて巻回したエナメル銅線を接着、若しくは、熱にて硬化する作用のある融着エナメル銅線を用いて空芯にて巻回した後に熱風や乾燥炉等の熱にて硬化させて形成することができる。

[0052] コイル２３ｂが被検体Ｍの検査対象面を囲むように対向させて検査検出器２３を配置し、交流電源１０によりコイル２３ｂに所定の周波数の交流電力を供給すると交流磁界が発生し、被検体Ｍの表面に交流磁界に交差する方向に流れる渦電流が励起される。渦電流は残留応力層の電磁気特性に応じて変化するため、残留応力層の特性（表面処理状態）に応じて増幅器３１から出力される出力波形（電圧波形）の位相及び振幅（インピーダンス）が変化する。この出力波形の変化により表面処理層の電磁気特性を検出し、検査を行うことができる。

[0053] 検査検出器２３の外方であって被検体Ｍを囲んで配置される磁気シールド２３ｃを設けることもできる。磁気シールド２３ｃを用いると、外部磁気を遮蔽することができるため、誤検知を防止することができる。

[0054]（交流ブリッジ回路からの出力）

次に、非平衡状態に調整された交流ブリッジ回路２０からの出力について、図２の等価回路を参照して説明する。基準検出器２２には基準出力を出力するための基準検体Ｓが近接され、検査検出器２３には表面処理状態の良否を判定すべき被検体Ｍが近接されている。

ここで、基準検体Ｓは被検体Ｍと同一構造であり、好ましくは表面処理を行っていない未処理品を用いる。

[0055] 可変抵抗R_Aの分配比をγとした場合、抵抗Ｒ１は$R_A/(1+\gamma)$、抵抗Ｒ２は$R_A\gamma/(1+\gamma)$となる。基準検出器２２のインピーダンスを$R_S+j\omega L_S$、検査検出器２３のインピーダンスを$R_T+j\omega L_T$とする。また、点Ａの電位をＥとし、基準検出器２２、検査検出器２３に各検体（基準検体Ｓ、被検体Ｍ）を近接させていないときのブリッジの各辺に流れる励磁電流をそれぞれi_1、i_2、各検体を基準検出器２２、検査検出器２３に近接させることによ

り磁気量が変化し、その変化量に応じて流れる電流をそれぞれｉα、ｉβとする。このときの基準検出器２２及び検査検出器２３の電位Ｅ１、Ｅ２及び励起電流i_1、i_2は以下の式（１）～（４）で表される。

[0056] [数1]

$$E1=(R_S+j\omega L_S)(i\alpha+i_1) \quad (1)$$

[0057] [数2]

$$E2=(R_T+j\omega L_T)(i\beta+i_2) \quad (2)$$

[0058] [数3]

$$i_1=\frac{E}{\frac{R_A}{1+\gamma}+R_S+j\omega L_S} \quad (3)$$

[0059] [数4]

$$i_2=\frac{E}{\frac{R_A\gamma}{1+\gamma}+R_T+j\omega L_T} \quad (4)$$

[0060] 増幅器３１に出力される電圧はＥ１、Ｅ２の差分であり、次式で表される。

[0061] [数5]

$$E2-E1=[\{(R_T+j\omega L_T)i\beta-(R_S+j\omega L_S)i\alpha\}+\{(R_T+j\omega L_T)i_2-(R_S+j\omega L_S)i_1\}] \quad (5)$$

[0062] 式（３）～（５）より次式が導かれる。

[0063] [数6]

$$E2-E1=[\{(R_T+j\omega L_T)i\beta-(R_S+j\omega L_S)i\alpha\}+\{(R_T+j\omega L_T)\frac{E}{\frac{R_A\gamma}{1+\gamma}+R_T+j\omega L_T}-(R_S+j\omega L_S)\frac{E}{\frac{R_A}{1+\gamma}+R_S+j\omega L_S}\}] \quad (6)$$

[0064] 式（６）の右辺を次の成分Ａ、Ｂに分けて差分電圧の各成分について考える。

成分Ａ：

$$\left(R_T + j\omega L_T\right)i\beta - \left(R_S + j\omega L_S\right)i\alpha$$

成分Ｂ　：

$$\left(R_T + j\omega L_T\right)\frac{E}{\frac{R_A\gamma}{1+\gamma} + R_T + j\omega L_T} - \left(R_S + j\omega L_S\right)\frac{E}{\frac{R_A}{1+\gamma} + R_S + j\omega L_S}$$

[0065]　成分Ａは、各検出器成分：（R_S＋ｊωＬ$_S$）、（R_T＋ｊωＬ$_T$）、各検出器に各検体が近接したときに変化する電流量：ｉα、ｉβにより構成される。ｉα、ｉβは各検体の透磁率、導電率などの電磁気特性に起因する検体を通る磁気量によって大きさが変化する。このため各検出器から発生する磁気量を左右する励磁電流ｉ$_1$、ｉ$_2$を変えることでｉα、ｉβの大きさを変化させることができる。また、式（３）、式（４）より、励磁電流ｉ$_1$、ｉ$_2$は可変抵抗の分配比γによって変わるので、可変抵抗の分配比γを調整することにより成分Ａの大きさを変化させることができる。

[0066]　成分Ｂは、各検出器成分：（R_S＋ｊωＬ$_S$）、（R_T＋ｊωＬ$_T$）、可変抵抗の分配比γで分けられた抵抗のパラメーターにより構成される。このため、成分Ａ同様に可変抵抗の分配比γの調整により成分Ｂの大きさを変化させることができる。

[0067]　被検体Ｍを所定の位置に配置し、交流電源１０により検査検出器２３のコイル２３ｂに所定の周波数の交流電力を供給すると、被検体Ｍの表面に交流磁界に交差する方向に流れる渦電流が励起される。渦電流は残留応力層の電磁気特性に応じて変化するため、残留応力層の特性（表面処理状態）に応じて増幅器３１から出力される出力波形（電圧波形）の位相及び振幅（インピーダンス）が変化する。この出力波形の変化により残留応力層の電磁気特性を検出し、表面処理層の検査を行うことができる。

[0068]　ブリッジの増幅器３１から出力される信号は、基準検出器２２及び検査検出器２３の電圧波形の差分面積を抽出した信号であり、検出器を流れる電流

（励磁電流）を一定にする回路構成になっている。また、抽出された電圧信号は電力信号として考えることができる。

また、検出器へ供給する電力は常に一定となる。これにより、被検体Ｍへ供給する磁気エネルギーも一定とすることができる。

[0069]（表面特性検査方法）

次に、表面特性検査装置１による被検体の表面特性検査方法について図３を参照して説明する。

[0070] まず、検査装置準備工程である準備工程Ｓ１では、表面特性検査装置１と基準検体Ｓとを用意する。

[0071] 次に、可変抵抗設定工程Ｓ２を行う。可変抵抗設定工程Ｓ２では、まず、交流電源１０から交流ブリッジ回路２０に交流電力を供給する。この状態で、表面特性検査装置１による検体の検出感度が高くなるように、可変抵抗２１の分配比γを調整する。即ち、検査検出器２３に検体を近接させずに、交流ブリッジ回路２０の出力信号が小さくなるように、可変抵抗２１の分配比γを調整する。このように可変抵抗２１を設定しておくことにより、検査検出器２３に近接した被検体Ｍの表面処理状態が不良である場合と、表面処理状態が良好である場合の出力信号の差異が大きくなり、検出精度を高くすることができる。具体的には、オシロスコープなど波形表示機能を持つ表示装置（例えば、判断手段３６が備えている）にて交流ブリッジ回路２０からの出力信号の電圧振幅、またはＬＰＦ３３からの電圧出力をモニターし、出力が小さくなるように分配比γを調整する。好ましくは、出力が最小値又は極小値（局所平衡点）をとるように、可変抵抗２１の分配比γを調整して、設定する。

[0072] 可変抵抗２１の分配比γの調整は、差分電圧（Ｅ２－Ｅ１）を小さくすることにより表面状態の差異に応じた出力差を増大させ、検査精度を向上させるために行われる。上述したように成分Ａ、Ｂは分配比γを調整することにより変化するため、基準検出器２２、検査検出器２３のインピーダンス（R_S＋ｊωL_S）、（R_T＋ｊωL_T）に応じて、可変抵抗２１の分配比γを調整し、

交流ブリッジ回路２０からの出力である差分電圧（Ｅ２－Ｅ１）を小さくすることができる。これにより、基準検出器２２と検査検出器２３との特性の違いを軽減して、被検体Ｍの本来の特性を少しでも大きく抽出することができるので、検査精度を向上させることができる。

[0073] 周波数設定工程Ｓ３では、基準検体Ｓを基準検出器２２に近接させた状態で、交流電源１０から交流ブリッジ回路２０に交流電力を供給し、周波数調整器３５により交流ブリッジ回路２０に供給する交流電力の周波数を変化させて交流ブリッジ回路２０から電圧振幅出力またはＬＰＦ３３からの電圧出力をモニターする。

[0074] 周波数調整器３５は、周波数調整器３５において設定された初期周波数ｆ１になるように交流電源１０へ制御信号を出力し、周波数ｆ１における増幅器３１からの出力電圧Ｅｆ１が周波数調整器３５に入力され、記憶される。続いて、周波数ｆ１よりも所定の値、例えば１００Ｈｚ高い周波数ｆ２になるように交流電源１０へ制御信号を出力し、周波数ｆ２における増幅器３１からの出力電圧Ｅｆ２が周波数調整器３５に入力され、記憶される。

続いて、Ｅｆ１とＥｆ２との比較を行い、Ｅｆ２＞Ｅｆ１であれば、周波数ｆ２よりも所定の値高い周波数ｆ３になるように制御信号を出力し、周波数ｆ３における増幅器３１からの出力電圧Ｅｆ３が周波数調整器３５に入力され、記憶される。そして、Ｅｆ２とＥｆ３との比較を行う。これを繰り返し、Ｅｆｎ＋１＜Ｅｆｎとなったときの周波数ｆｎ、つまり出力が最大となる周波数ｆｎを、しきい値設定工程Ｓ４及び交流供給工程Ｓ５で用いる周波数として設定する。これにより、表面処理状態、形状などが異なりインピーダンスが異なる被検体Ｍに対応して交流ブリッジ回路２０からの出力を大きくする周波数を一度の操作により設定することができる。最適な周波数は、被検体の材料、形状、表面処理状態により、変化することとなるが、これがあらかじめわかっている場合、周波数の設定は不要である。これにより、表面処理状態の変化に出力が敏感に対応し、検査の感度を向上させることができる。

ここで、周波数設定工程Ｓ３は、可変抵抗設定工程Ｓ２よりも先に実施することもできる。

[0075] しきい値設定工程Ｓ４では、被検体Ｍの表面状態の良否を判断するために用いるしきい値を設定する。ここでは、被検体Ｍの評価開始時に用いるためあらかじめ設定しておくしきい値（以下、「初期しきい値」という。）の設定方法について説明する。まず、基準検体Ｓを基準検出器２２に近接させ、周波数設定工程Ｓ３において設定された周波数の交流電力を交流電源１０から交流ブリッジ回路２０に供給する。交流ブリッジ回路２０から出力された電圧出力は、増幅器３１で増幅され、絶対値回路３２において全波整流を行い、ＬＰＦ３３において直流変換を行い、判断手段３６へ出力される。未処理の被検体と２段ピーニング処理された被検体のうち、第１ショットピーニング、第２ショットピーニング処理がともに適正に行われた良品と判断されるものとをそれぞれ１０～数１０個程度用意し、検査検出器２３にそれぞれの被検体を近接させたときに判断手段３６へ出力された出力値から、出力値の分布データを取得する。図４に模式的に示す。

[0076] 初期しきい値Ｅｔｈｉは、検査検出器２３に未処理の被検体Ｍを配置したときの出力信号ＥＡ及び検査検出器２３に良品である表面処理後の被検体Ｍを配置したときの出力信号ＥＢに基づいて、それぞれの出力信号のばらつきを考慮し、次式により定める。図４に未処理の被検体の出力信号ＥＡ及び表面処理後の被検体の出力信号ＥＢの分布を模式的に示す。

[0077] （数７）

$$Eth_i = (EA_{av} \cdot \sigma B + EB_{av} \cdot \sigma A) / (\sigma A + \sigma B)$$

ＥＡav：出力信号ＥＡの平均値、ＥＢav：出力信号ＥＢの平均値、σＡ：出力信号ＥＡの標準偏差、σＢ：出力信号ＥＢの標準偏差

[0078] これにより、少ない測定数により精度の高い適切なしきい値を設定することができる。この初期しきい値Ｅｔｈｉをしきい値として設定し、判断手段３６に記憶させておく。ここで、初期しきい値Ｅｔｈｉは、出力信号ＥＡの最大値ＥＡｍａｘ及び出力信号ＥＢの最小値ＥＢｍｉｎとの間に、

ＥＡｍａｘ＜Ｅｔｈｉ＜ＥＢｍｉｎ

の関係を持つ。

なお、上記関係が成立しない場合にも、出力信号ＥＡ及び出力信号ＥＢのばらつき、分布から大きく外れた特異的な測定値がないか、など考慮して、適切な初期しきい値Ｅｔｈｉを設定することができる。例えば、同じ被検体の未処理状態、表面処理状態を複数個測定し、これを用いて初期しきい値Ｅｔｈｉを再度算出する等の方法がある。

また、適当なしきい値があらかじめわかっている場合には、その値を採用することもできる。

[0079] 更に、しきい値設定工程Ｓ４では検査検出器２３に被検体Ｍが近接していない状態での出力信号を初期オフセット値Ｅｉとして判断手段３６に記憶させておく。

[0080] 交流供給工程Ｓ５では、周波数設定工程Ｓ３において設定された周波数の交流電力を交流電源１０から交流ブリッジ回路２０に供給する。ここで、基準検体Ｓは基準検出器２２に近接している。

[0081] 次いで、配置工程Ｓ６では、表面処理状態の良否を判定すべき被検体Ｍを検査検出器２３に近接させ、被検体Ｍに渦電流が励起されるように配置する。従って、交流供給工程Ｓ５及び配置工程Ｓ６は、渦電流励起工程として機能する。このとき、交流ブリッジ回路２０から電圧出力信号が出力され、出力信号は、増幅器３１で増幅され、絶対値回路３２において全波整流され、ＬＰＦ３３において直流変換される。

[0082] 温度測定手段３８は、被検体Ｍが検査検出器２３に近接する前、または被検体Ｍの配置後に被検体Ｍの表面の温度を測定し、被検体Ｍの表面の温度信号を判断手段３６に出力する。

[0083] 検査状態判断工程Ｓ７では、位相比較器３４により交流電源１０から供給される交流電力の波形と交流ブリッジ回路２０から出力される交流電圧波形を比較し、それらの位相差を検出する。この位相差をモニターすることにより、検査状態が良好である（例えば、検査検出器２３と被検体Ｍの位置ずれ

がない）か否かを判断することができる。交流ブリッジ回路２０からの出力が同じであっても、位相差が大きく変化した場合には、検査状態に変化があり、検査が適正に行われていない可能性があると判断することができる。また、判断手段３６は、温度測定手段３８で検出された被検体Ｍの温度が所定範囲内である場合に、被検体Ｍの表面処理状態の良否を判断し、温度測定手段３８で検出された温度が所定範囲外である場合に、被検体Ｍの表面処理状態の良否の判断を行わない。ここで、所定の温度範囲は、被検体Ｍの温度変化が検査に実質的に影響を及ぼさない温度範囲であり、例えば、０～６０℃と設定することができる。被検体Ｍの表面の温度が所定の温度範囲外であった場合には、被検体Ｍが所定の温度範囲内になるまで待機する、被検体Ｍにエアを吹き付ける、被検体Ｍの検査を行わず別のラインに移動させる、などを行うことができる。

[0084] 良否判断工程Ｓ８では、ＬＰＦ３３において直流変換された信号が判断手段３６に入力され、判断手段３６は、入力された信号に基づいて被検体Ｍの表面状態の良否を判断する。

つまり、本工程は交流ブリッジ回路２０から出力された出力信号に基づいて、被検体Ｍの表面特性を評価する評価工程である。判断手段３６による判断結果は、表示手段３７により表示され、表面状態が不良である場合（第１ショットピーニング処理が適正に実施されていない場合）には警告する。

[0085] 被検体Ｍの表面処理状態の良否の判断は、ＬＰＦ３３からの出力値（測定値）と、しきい値設定工程Ｓ４において設定されたしきい値と、を比較することにより行われる。判断手段３６はＬＰＦ３３からの出力値（測定値）がしきい値を超えている場合には、表面状態が良好である（第１ショットピーニング処理が適正に実施されている）と判断し、ＬＰＦ３３からの出力値（測定値）がしきい値以下である場合には、表面状態が不良である（第１ショットピーニング処理が適正に実施されていない）と判断する。なお、「第１ショットピーニング処理が適正に行われたか否か」とは、第１ショットピーニング処理の良否とともに、第１ショットピーニング処理が実施されている

か否かも含めた概念である。

[0086] 測定値、良否判断結果、測定日時、検査状態（温度、湿度、後述する差分電圧ΔＥなど）などの検査データは、ロット、製造番号、履歴などの各被検体Ｍの識別情報と関連付けて評価装置３０の判断手段３６、または、図示しない記憶手段に記憶され、必要に応じて呼び出すことができる。すなわち、被検体には、それぞれの測定データと対応付けられる識別表示が直接若しくは間接的に付与されるようにしてもよい。例えば、測定データに対応付けられたバーコードや製品管理番号を被検体に直接的に表したり、間接的に表したりしてもよい。このように、バーコード、製品管理番号等の識別表示に測定データが対応付けられることにより、表面特性検査装置により検査した被検体の表面処理の状態を流通後に追跡可能な状態にすることができ、トレーサビリティを担保することができる。

[0087] 以上の工程により、第１ショットピーニング処理と第２ショットピーニング処理との２段ショットピーニング処理が施された被検体Ｍの表面特性を、第２ショットピーニング処理後にのみ検査することにより、深部、例えば、表面から３０～１００μｍ程度までの範囲で、残留応力が適正に付与されたか否かを検査することができ、第１ショットピーニング処理の良否を判断するために好適に用いることができる。これによれば、２段ショットピーニング処理の終了後の１回の検査で２段ピーニング処理が適正に行われているかを判断できるため、検査時間を短縮することができる。また、迅速な検査を非破壊で行うことができ、インラインの検査としても好適に用いることができる。

[0088] 検査を継続するには、被検体Ｍのみを交換して、配置工程Ｓ６、検査状態判断工程Ｓ７、良否判断工程Ｓ８を繰り返し行えばよい。被検体Ｍの種類、表面処理の種類などを変更する場合には、再度、可変抵抗設定工程Ｓ２、周波数設定工程Ｓ３、しきい値設定工程Ｓ４を実施する。

[0089] 検査検出器２３は、被検体Ｍの表面を流れる渦電流の変化を捉えることにより、表面抵抗変化を間接的に捉えている。つまり、被検体Ｍの導電率、透

磁率の変化を検出することにより、ショットピーニング処理が適正に行われ、所望の残留応力が付与された状態であるか否かを検出する。ここで、本表面特性検査方法は、交流電力の周波数を変えることにより、渦電流の浸透深さを変化させることができるので、表面から所望の深さまでの表面特性を検査することができ、残留応力が適正に付与されたか否かの検査に好適に用いることができる。

基準検出器２２において基準状態を検出するために、検査検出器２３を含めた被検体Ｍと同一構造の基準検出器２２を含めた基準検体Ｓを用いているため、温度、湿度、磁気などの検査環境の変化により出力値が変動しても、その影響は検査検出器２３を含めた被検体Ｍと同等になる。これにより、温度、湿度、磁気などの検査環境の変化による出力値の変動をキャンセルすることができ、測定精度を向上させることができる。特に、基準検体Ｓとして表面処理を行っていない未処理品を用いると、被検体Ｍとの表面状態の差に基づいた出力を大きくすることができるので、更に測定精度を向上させることができるとともに、しきい値を設定しやすく、好ましい。

[0090] （しきい値の更新設定）

初期しきい値Ｅｔｈｉは、検査検出器２３に未処理の被検体Ｍを配置したときの出力信号ＥＡ及び検査検出器２３に表面状態が良好である表面処理後の被検体Ｍを配置したときの出力信号ＥＢの差が大きい場合などには、出力信号ＥＡの平均値ＥＡav側に近づいて、良品と判定される出力の幅が大きくなる可能性がある。そのため、更に精度の高いしきい値を設定したい場合には、初期しきい値Ｅｔｈｉを用いて繰り返し測定を行うことにより蓄積された数多くの検査データに基づいて、しきい値を設定し直すことができる。このとき新たに設定されるしきい値を更新しきい値Ｅｔｈｎという。

[0091] 更新しきい値Ｅｔｈｎの設定は、例えば、１００個以上の被検体Ｍの検査を行った後に実施する。更新しきい値Ｅｔｈｎの設定方法を以下に例示する。ここで、初期しきい値Ｅｔｈｉを用いて検査した被検体Ｍの出力信号をＥＣ、その最小値をＥＣｍｉｎ、最大値をＥＣｍａｘ、平均値をＥＣav、標準

偏差をσＣとする。

[0092] 一つの方法として、初期しきい値ＥｔｈｉとＥＣｍｉｎとを比較し、以下のように更新しきい値ＥｔｈｎをＥＣｍｉｎ≦ Ｅｔｈｉの場合には、更新しきい値ＥｔｈｎをＥＣｍｉｎ＞Ｅｔｈｉの場合には、ＥＣｍｉｎを更新しきい値Ｅｔｈｎとして設定することができる。

[0093] また、平均値ＥＣav及び標準偏差σＣを用いて、更新しきい値ＥｔｈｎをＥＣav－３σＣまたはＥＣav－４σＣとすることができる。ＥＣav－３σＣ、ＥＣav－４σＣのいずれを用いるかは出力信号ＥＣの分布を考慮して判断し、ＥＣav－３σＣまたはＥＣav－４σＣが初期しきい値Ｅｔｈｉ以下である場合には、更新しきい値Ｅｔｈｎを設定せず初期しきい値Ｅｔｈｉを用いる。

[0094] また、最小値ＥＣｍｉｎ、最大値ＥＣｍａｘ、平均値ＥＣavの大小関係に基づいて、以下のように更新しきい値Ｅｔｈｎを設定することもできる。具体的には、最小値ＥＣｍｉｎと最大値ＥＣｍａｘとの平均値（ＥＣｍｉｎ＋ＥＣｍａｘ）／２と平均値ＥＣavとの比較を行い、場合分けをする。

[0095] （ＥＣｍｉｎ＋ＥＣｍａｘ）／２≦ＥＣavの場合：ＥＣav－３σＣを更新しきい値Ｅｔｈｎとして設定

（ＥＣｍｉｎ＋ＥＣｍａｘ）／２＞ＥＣavの場合：ＥＣav－４σＣを更新しきい値Ｅｔｈｎとして設定

ここで、ＥＣav－３σＣまたはＥＣav－４σＣが初期しきい値Ｅｔｈｉ以下である場合には、更新しきい値Ｅｔｈｎを設定せず初期しきい値Ｅｔｈｉを用いる。

[0096] 更新しきい値Ｅｔｈｎは更新後に検査した被検体Ｍの検査データに基づいて繰り返し更新することができる。例えば、初期しきい値Ｅｔｈｉ設定後に１００個の被検体Ｍの検査を行い、更新しきい値Ｅｔｈｎを設定した後に、更に１００個の被検体Ｍの検査を行い、その検査データに基づいて新しい更

新しきい値Ｅｔｈｎを設定することもできる。また、２００個の検査データすべてを用いて新しい更新しきい値Ｅｔｈｎを設定することもできる。

[0099]（測定値の校正）

前述した初期オフセット値Ｅｉと検査オフセット値Ｅｉｋとを用いて測定値の校正を行うことができる。

[0100] 図５に示すように、ステップＳ１０１では、配置工程Ｓ６で被検体Ｍを配置する前に検査オフセット値Ｅｉｋを測定し判断手段３６に記憶させる。

[0101] 続くステップＳ１０２では、初期オフセット値Ｅｉと検査オフセット値Ｅｉｋとを比較、差分電圧ΔＥ＝Ｅｉ－Ｅｉｋを算出する。ステップＳ１０２以降は、良否判断工程Ｓ８に対応する。

[0102] 続くステップＳ１０３で被検体Ｍの検査を行いステップＳ１０４において測定値（Ｅ２－Ｅ１）を記憶し、ステップＳ１０５において記憶された測定値に差分電圧ΔＥを加算する。

[0103] そして、ステップＳ１０６において、差分電圧ΔＥが加算された測定値をしきい値と比較して良否判断を行う。

[0104] これにより、温度、湿度、磁気などの測定環境の変化により、オフセット電圧が変化した場合でも、その影響を排除した精度の高い測定を行うことができる。すなわち、検量機器（検査装置）としての校正（calibration）を毎回行った状態で適切で精度の高い測定を行うことができる。

[0105] また、差分電圧ΔＥが表面特性検査装置１の使用条件に基づいて設定された許容値を超えた場合には、外乱が大きい、装置の不具合など、検査状態が適切でなく、検査が適正に行われていない可能性があると判断することができる。この場合、検査状態判断工程Ｓ７において被検体Ｍの表面特性の検査を行わないようにすることができる。このとき、基準検出器２２、検査検出器２３の点検、測定環境の温度の確認、基準検体Ｓの点検や交換などを行うことができる。当該許容値は、検査が適正に行われる条件として設定し、例えば、初期オフセット値Ｅｉの５％（ΔＥ＝０．０５Ｅｉ）と設定することができる。

[0106] （被検体の配置、取出しの制御）

被検体Ｍの検査検出器２３への配置及び検査検出器２３からの取出しを測定値Ｅｎ（Ｅｎ＝Ｅ２－Ｅ１）を用いて制御することができる。

被検体の配置、取出しの制御方法を図６及び図７を参照して説明する。なお、図６は、初期値Ｅｉ０、出力値Ｅｎなどを説明のために例示し、模式的に示したもので、実際の出力値ではない。

[0107] まず、図７（Ａ）に示すステップＳ２０１で検査検出器２３に被検体Ｍを配置すると、図６（Ａ）に示すように出力値が被検体Ｍが配置されていないときの初期値Ｅｉ０＝３．０００から低下し始める。

[0108] 次にステップＳ２０２において、被検体Ｍが検査検出器２３に配置されたことを検出し、出力値の記録を開始する時間のカウントを開始する基準（図６（Ａ）の測定待ち開始）のトリガーを検出する。図６（Ａ）では、出力値が１．５００になったときを配置完了待ちトリガートリガーＥｎ１とし、ステップＳ２０３において待ち時間をカウントする。なお、配置完了待ちトリガーＥｎ１となる出力値（１．５００）は、次段落で説明する所定の待ち時間が経過すれば出力値が安定するように、逆算して設定する。

[0109] 出力値が安定するまでの所定の待ち時間（例えば、２～３秒）が経過すると、ステップＳ２０４において測定を行い、安定した出力値Ｅｎ２（０．３７０）を検出し、記憶する。

[0110] これにより、検査検出器２３への被検体Ｍの配置状態、すなわち、被検体Ｍが適切な検査可能な状態に配置されたこと、を検出して被検体の表面特性の評価を開始することができるため、測定条件を統一し、安定した出力値Ｅｎ２を検出することができるので、作業者によるばらつきなどをなくすことができ、精度の高い測定を行うことができる。

[0111] また、被検体Ｍの取出しの制御は以下のように行う。

[0112] まず、図７（Ｂ）に示すステップＳ３０１で検査検出器２３から被検体Ｍを取り出すと、図６（Ｂ）に示すように測定値が被検体Ｍが配置されているときの出力値Ｅｎ２から上昇し始める。

[0113] 次にステップＳ３０２において、被検体の取出し確認を行うための待ち時間のカウントを開始する基準（図６（Ｂ）の完了待ち開始）の取り出し完了待ちトリガーＥｎ３を検出する。図６（Ｂ）では、測定値が２．５００になったときを取り出し完了待ちトリガーＥｎ３とし、ステップＳ３０３において待ち時間をカウントする。なお、取り出し完了待ちトリガーＥｎ３となる出力値（２．５００）は、次段落で説明する所定の待ち時間が経過すれば出力値が安定するように、逆算して設定する。

[0114] 測定値が初期値Ｅｉ０近傍まで回復するまでの所定の待ち時間（例えば、２～３秒）が経過すると、ステップＳ３０４において出力値Ｅｉ１（３．０００）を検出し、記憶する。

このとき、記憶された出力値Ｅｉ１を検査オフセット値Ｅｉｋとして用いることができる。

[0115] これにより、被検体Ｍが取り出されたことを検出し、測定値が初期状態に戻った状態で次の測定を行うことができる。

[0116] 上述のような被検体Ｍの配置、取出しの制御を行う構成によれば、被検体Ｍが検査検出器２３に対して適切に配置されたかどうかを検出するための位置センサなどを設ける必要がなく、装置を簡単な構成にすることができる。また、表面処理を行う表面処理装置から表面特性検査装置１に被検体Ｍを搬送する搬送手段（例えば、ベルトコンベア）や検査後の被検体Ｍを良品と不良品とに仕分ける選別手段などと組み合わせたシステムとすることにより、被検体Ｍの表面処理から検査までを一貫して行い、自動化可能なシステムとして構築することができる。

[0117]（変更例）

検査状態判断工程Ｓ７を実施しない場合には、表面特性検査装置１は位相比較器３４を省略することができる。例えば、レーザー変位計などの位置検出手段にて検査検出器２３と被検体Ｍの位置関係の検出を行い、検査検出器２３の軸と被検体Ｍの軸とのずれが所定の範囲内であるか否かを光電センサ（レーザ）等で判定する、などを行う構成とすることができる。また、位相

比較器３４、周波数調整器３５または表示手段３７は、判断手段３６に内蔵させるなど一体的に設けることもできる。

[0118] 被検体Ｍの測定時の交流ブリッジ回路２０からの出力が十分に大きい場合には、可変抵抗設定工程Ｓ２、周波数設定工程Ｓ３を省略することもできる。周波数設定工程Ｓ３を省略する場合には、表面特性検査装置１は周波数調整器３５を省略することができる。

[0119] ［第１実施形態の効果］

本発明の表面特性検査装置１及び表面特性検査方法によれば、検査検出器２３のコイル２３ｂにより被検体Ｍに渦電流を励起し、交流ブリッジ回路２０から出力された出力信号としきい値とを比較して、被検体Ｍの表面特性を評価することができる。これにより、簡単な回路構成で高精度の表面状態の検査が可能である。

基準検出器２２において基準状態を検出するために、被検体Ｍと同一構造の基準検体Ｓを用いているため、温度、湿度、磁気などの検査環境の変化により出力値が変動しても、その影響は被検体Ｍと同等になる。これにより、温度、湿度、磁気などの検査環境の変化による出力値の変動をキャンセルすることができ、測定精度を向上させることができる。特に、基準検体Ｓとして表面処理を行っていない未処理品を用いると、被検体Ｍとの表面状態の差に基づいた出力を大きくすることができるので、更に測定精度を向上させることができるとともに、しきい値を設定しやすく、好ましい。

第１ショットピーニング処理と第２ショットピーニング処理との２段ショットピーニング処理が施された被検体の表面特性を、第２ショットピーニング処理後にのみ検査することにより、深部、例えば、表面から３０～１００μｍ程度までの範囲で、残留応力が適正に付与されたか否かを検査することができ、第１ショットピーニング処理の良否を判断することができる。これによれば、２段ショットピーニング処理の終了後の１回の検査で２段ピーニング処理が適正に行われているかを判断できるため、検査時間を短縮することができる。また、迅速な検査を非破壊で行うことができ、インラインの検

査としても好適に用いることができる。

上述の構成に加えて、２段ショットピーニング処理の終了後に画像検査を加えてもよい。

画像検査を加えることにより、第２ショットピーニング処理の良否判断の信頼性をより向上させることができる。

[0120] ［第２実施形態］

交流ブリッジ回路２０に供給される交流電力の周波数を２水準設定し、周波数が異なる交流電力を供給した状態で検査を行い、第１ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査に加え、第２ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査を行うこともできる。

[0121] 本発明の表面特性検査方法においては、交流ブリッジ回路２０に供給される交流電力の周波数が高い程、表面近傍の残留応力の状態を反映した情報が得られ、交流電力の周波数が低い程、表面から深い領域の残留応力の状態を反映した情報が得られる。従って、交流ブリッジ回路２０に供給される交流電力の周波数を低く設定することにより、第１ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査（第１ショットピーニング処理検査工程）を行うことができ、周波数を高く設定することにより、第２ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査（第２ショットピーニング処理検査工程）を行うことができる。これらの検査を組み合わせて行うことにより、第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理がそれぞれ適正に行われたか否かを判断することができるので、より正確な検査が可能となる。また、いずれのショットピーニング処理が不適正であったかを区別して判断することができる。

[0122] ここで、周波数は、被検体の導電率、透磁率に応じて適宜設定することができる。被検体が鉄鋼材料からなる場合には、周波数を２０～５０ｋＨｚに設定すると、渦電流の浸透深さである検出深さが最表面から６０～１００μｍとなるため、第１ショットピーニング処理後の残留応力が深部まで適正に

付与されたか否かの検査に適している。また、周波数を２００～４００ｋＨｚに設定すると、検出深さが最表面から２０～３０μｍとなるため、第２ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査に適している。従って、上述した第１実施形態において、周波数を２０～５０ｋＨｚに設定することにより、第１ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを判断することができる。

[0123] （測定前の各種設定）

第１ショットピーニング処理検査工程及び第２ショットピーニング処理検査工程を行う場合、周波数設定工程Ｓ３及びしきい値設定工程Ｓ４において、それぞれの検査工程に応じた設定を行う。

[0124] 周波数設定工程Ｓ３においては、第１ショットピーニング処理検査に用いる周波数の設定は、未処理材と第１ショットピーニング処理された被検体を準備し、各被検体における検査装置の出力電圧の差が大きな第１周波数である周波数ｆ１を設定する。本実施形態では、この設定値が２０～５０ｋＨｚとなる。

[0125] 第２ショットピーニング処理検査に用いる周波数の設定は、未処理材と第２ショットピーニング処理のみ施された被検体を準備し、各被検体における検査装置の出力電圧の差が大きな第２周波数である周波数ｆ２を設定する。本実施形態では、この設定値が２００～４００ｋＨｚとなる。

[0126] 第２ショットピーニング処理検査のように、１００ｋＨｚ以上の周波数の交流電力にて検査するような場合、高い周波数による表皮効果が発生し導体損失が増え検査感度が低下するおそれがある。コイル２３ｂを、銅線等の導体素線をエナメル等にて覆い絶縁した複数の細い導体素線を集めて撚合わせたリッツ線を用いて形成すると、導体の細分化によって導体表面積を大きくして、導体損失を軽減し、良好な検査感度を維持することができる。

[0127] しきい値設定工程Ｓ４においては、第１ショットピーニング処理検査に用いるしきい値である初期しきい値Ｅｔｈｉ１の設定は、未処理品と２段ショットピーニング処理された良品を準備し、周波数設定工程Ｓ３にて設定した

周波数ｆ１を用いて行う。

[0128] 第２ショットピーニング処理検査に用いる第２しきい値である初期しきい値Ｅｔｈｉ２の設定は、未処理品と２段ショットピーニング処理された良品を準備し、周波数設定工程Ｓ３にて設定した周波数ｆ２を用いて行う。

[0129] （表面特性検査方法）

第２実施形態における表面特性検査方法を、図８及び図９を参照して説明する。ここでは、第２ショットピーニング処理検査を先に実施し、その後、第１ショットピーニング処理検査を実施する場合（図９（Ａ））について説明する。なお、図９の出力値の変化は、説明のために模式的に示したものである。

[0130] ステップＳ４０１では、被検体Ｍを検査検出器２３に配置する。このとき供給されている交流電力は、第２ショットピーニング処理検査に用いる周波数ｆ２の交流電力である。このように、周波数ｆ２の交流電力で被検体Ｍに渦電流を励起する工程は、第２渦電流励起工程に相当する。検査検出器２３に被検体Ｍを配置すると、図９（Ａ）に示すように、出力値が、被検体Ｍが配置されていないときの初期値Ｅｉ０から低下し始める。

[0131] 次に、ステップＳ４０２において、被検体Ｍが検査検出器２３に配置されたことを検出し、出力値の記録を開始する時間のカウントを開始する基準となる（図９（Ａ）の測定待ち開始）配置完了待ちトリガートリガーＥｎ１を検出する。

[0132] 続くステップＳ４０３において待ち時間をカウントする。

[0133] 出力値が安定するまでの所定の待ち時間（例えば、２～３秒）が経過すると、ステップＳ４０４において測定を行い、安定した出力値Ｅｎ２（１）を検出し、記憶する。

[0134] 続くステップＳ４０５では、第２良否判断工程として、出力値Ｅｎ２（２）を初期しきい値Ｅｔｈｉ２と比較し、第２ショットピーニング処理検査を行い、第２ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを判断する。第２ショットピーニング処理が適正に行われていると判断した場合（Ｓ４０５

：ＹＥＳ）には、ステップＳ４０６に進み、第２ショットピーニング処理が適正に行われていないと判断した場合（Ｓ４０５：ＮＯ）には、被検体Ｍを検査検出器２３から取出して測定を終了し、被検体Ｍを不良品として処理する。

[0135] 続くステップＳ４０６では、このとき供給されている交流電力の周波数を、第２ショットピーニング処理検査に用いる周波数ｆ２から第１ショットピーニング処理検査に用いる周波数ｆ１に切り換える。これにより、周波数ｆ１の交流電力で被検体Ｍに渦電流を励起する渦電流励起工程が行われ、第１ショットピーニング処理検査を実施する準備が行われる。

[0136] 続くステップＳ４０７において、周波数を切換えたときを起点として、待ち時間をカウントする。図９（Ａ）に示すように、出力値は周波数を切換えたときを起点として、出力値Ｅｎ２（２）から上昇し始める。

[0137] 出力値が安定するまでの所定の待ち時間（例えば、５～６秒）が経過すると、ステップＳ４０８において測定を行い、安定した出力値Ｅｎ２（１）を検出し、記憶する。

[0138] 続くステップＳ４０９では、良否判断工程として、出力値Ｅｎ２（１）を初期しきい値Ｅｔｈｉ１と比較し、第１ショットピーニング処理検査を行い、第１ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを判断する。第１ショットピーニング処理が適正に行われていると判断した場合（Ｓ４０９：ＹＥＳ）には、ステップＳ４１０に進み、第２ショットピーニング処理が適正に行われていないと判断した場合（Ｓ４０９：ＮＯ）には、被検体Ｍを検査検出器２３から取出して測定を終了し、被検体Ｍを不良品として処理する。

[0139] 続くステップＳ４１０では、第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理ともに適正に行われていると判断された被検体Ｍを検査検出器２３から取り出す。被検体Ｍを検査検出器２３から取り出すと、出力値は被検体Ｍが配置されているときの出力値Ｅｎ２（１）から上昇し始める。

[0140] 続くステップＳ４１１において、被検体Ｍの取出し確認を行うための待ち時間のカウントを開始する基準となる（図９（Ａ）の完了待ち開始）取り出

し完了待ちトリガーＥｎ３を検出する。

[0141] 続くステップＳ４１２において待ち時間をカウントする。

[0142] 測定値が初期値Ｅｉ０近傍まで回復するまでの所定の待ち時間（例えば、１～２秒）が経過すると、ステップＳ４１３において出力値Ｅｉ１を検出し、記憶する。これにより、被検体Ｍが取り出されたことを検出し、測定値が初期状態に戻った状態で次の測定を行うことができる。

[0143] 以上の表面特性検査方法により、第１ショットピーニング処理検査工程により第１ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査を行うことができ、第２ショットピーニング処理検査工程により第２ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査を行うことができる。これにより、第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理がそれぞれ適正に行われたか否かを判断することができるので、より正確な検査が可能となる。また、いずれのショットピーニング処理が不適正であったかを区別して判断することができる。第１ショットピーニング処理検査工程で用いられる初期しきい値Ｅｔｈｉ１及び第２ショットピーニング処理検査工程で用いられるしきい値Ｅｔｈｉ２は、検査で用いる周波数に応じてそれぞれ設定されるため、第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理が適正に行われた否かを正確に判断することができる。

[0144] （変更例）

上述した実施形態では、第２ショットピーニング処理検査工程の実施後に第１ショットピーニング処理検査工程を実施したが、第１ショットピーニング処理検査工程の実施後に第２ショットピーニング処理検査工程を実施することもできる。この場合ステップＳ４０２－Ｓ４０５において第１ショットピーニング処理検査工程を実施し、ステップＳ４０７－Ｓ４０９において第２ショットピーニング処理検査工程を実施する。その場合、出力値の変化は図９（Ｂ）のようになる。なお、周波数が高い方が検査時における出力値の応答速度が速いため、供給する交流電力の周波数が高い第２ショットピーニ

ング処理検査工程を先に行うと、検査に要する時間を短縮することができる。

[0145] ［第２実施形態の効果］

第２実施形態の表面特性検査方法によれば、第１ショットピーニング処理検査工程により第１ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査を行うことができ、第２ショットピーニング処理検査工程により第２ショットピーニング処理後の残留応力が適正に付与されたか否かの検査を行うことができる。これにより、第１ショットピーニング処理及び第２ショットピーニング処理がそれぞれ適正に行われたか否かを判断することができるので、より正確な検査が可能となる。また、いずれのショットピーニング処理が不適正であったかを区別して判断することができる。

符号の説明

[0146] １…表面特性検査装置

１０…交流電源

２０…交流ブリッジ回路

２１…可変抵抗

２２…基準検出器

２３…検査検出器

２３ａ…コア

２３ｂ…コイル

２３ｃ…磁気シールド

３０…評価装置

３１…増幅器

３２…絶対値回路

３３…ＬＰＦ

３４…位相比較器

３５…周波数調整器

３６…判断手段

３７…表示手段

３８…温度測定手段

Ｍ…被検体

Ｓ…基準検体

請求の範囲

[請求項1] ショットピーニング処理された被検体の表面特性を検査する表面特性検査方法であって、

交流ブリッジ回路と、

前記交流ブリッジ回路に交流電力を供給する交流電源と、

前記交流ブリッジ回路からの出力信号に基づいて、被検体の表面特性を評価する評価装置と、を備え、

前記交流ブリッジ回路は、第１の抵抗と第２の抵抗とに分配比が可変に構成された可変抵抗と、交流磁気を励起可能なコイルを備え被検体に渦電流を励起するように当該コイルを配置可能に形成された検査検出器と、被検体と同一構造の基準検体を配置し、前記検査検出器からの出力と比較する基準となる基準状態を検出する基準検出器とを有し、前記第１の抵抗、前記第２の抵抗、前記基準検出器及び前記検査検出器がブリッジ回路を構成する表面特性検査装置を用意する検査装置準備工程と、

前記評価装置における被検体の表面特性の評価に使用するしきい値を決定するしきい値設定工程と、

表面から深部に残留応力を付与する第１ショットピーニング処理と、前記第１ショットピーニング処理後に前記第１ショットピーニング処理よりも低強度のショットピーニングを行い表面近傍に更に残留応力を付与する第２ショットピーニング処理と、が施された被検体に、前記検査検出器によって渦電流を励起する渦電流励起工程と、

前記第２ショットピーニング処理後に実施された前記渦電流励起工程において前記交流ブリッジ回路から出力された出力信号と前記しきい値とを比較して、前記第１ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを前記評価装置により判断する良否判断工程と、

を有することを特徴とする表面特性検査方法。

[請求項2] 前記渦電流励起工程は、前記基準検体として、表面処理を施してい

ない未処理品を前記基準検出器に配置した状態で実施されることを特徴とする請求項１に記載の表面特性検査方法。

[請求項3] 前記しきい値設定工程は、前記第１ショットピーニング及び前記第２ショットピーニング処理が適正に行われた被検体に渦電流を励起した際の前記交流ブリッジ回路の出力信号に基づいて前記しきい値を設定することを特徴とする請求項１または請求項２に記載の表面特性検査方法。

[請求項4] 更に、前記渦電流励起工程よりも高い周波数の交流電力を前記交流電源によって供給して、被検体に渦電流を励起する第２渦電流励起工程と、この第２渦電流励起工程により渦電流が励起されているときの前記交流ブリッジ回路の出力信号に基づいて、前記第２ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを前記評価装置により判断する第２良否判断工程と、を備えたことを特徴とする請求項１ないし３のいずれか１つに記載の表面特性検査方法。

[請求項5] 前記しきい値設定工程は、所定の第１周波数の交流電力を前記交流ブリッジ回路に供給して得られた出力信号に基づいて決定されるしきい値、及び前記第１周波数よりも高い第２周波数の交流電力を前記交流ブリッジ回路に供給して得られた出力信号に基づいて決定される第２しきい値を決定し、前記しきい値は前記良否判断工程における良否判断に使用され、前記第２しきい値は前記第２良否判断工程における良否判断に使用されることを特徴とする請求項４に記載の表面特性検査方法。

[請求項6] 前記第２良否判断工程は、前記良否判断工程よりも前に実施されることを特徴とする請求項４に記載の表面特性検査方法。

[請求項7] 前記しきい値設定工程は、前記検査検出器に未処理の被検体を配置したときの前記交流ブリッジ回路の出力信号ＥＡ、及び前記検査検出器に前記第１ショットピーニング及び前記第２ショットピーニング処理が適正に行われた被検体を配置したときの前記交流ブリッジ回路の

出力信号ＥＢに基づいて、下式によりしきい値Ｅｔｈｉを設定することを特徴とする請求項３または請求項５に記載の表面特性検査方法。

Ｅｔｈｉ＝（ＥＡav・σＢ＋ＥＢav・σＡ）／（σＡ＋σＢ）

ＥＡav：出力信号ＥＡの平均値、ＥＢav：出力信号ＥＢの平均値、σＡ：出力信号ＥＡの標準偏差、σＢ：出力信号ＥＢの標準偏差

[請求項8] 前記評価装置は記憶手段を備え、この記憶手段には、各被検体の識別情報と該被検体の表面特性の検査データが関連付けて記憶されることを特徴とする請求項１ないし請求項７のいずれか１つに記載の表面特性検査方法。

[請求項9] ショットピーニング装置により表面から深部に残留応力を付与する第１ショットピーニング処理と、前記第１ショットピーニング処理後に前記第１ショットピーニング処理よりも低強度のショットピーニングを行い表面近傍に更に残留応力を付与する第２ショットピーニング処理と、が施された被検体の表面特性を検査する表面特性検査装置であって、

交流ブリッジ回路と、

前記交流ブリッジ回路に交流電力を供給する交流電源と、

前記交流ブリッジ回路からの出力信号に基づいて、被検体の表面特性を評価する評価装置と、を備え、

前記交流ブリッジ回路は、第１の抵抗と第２の抵抗とに分配比が可変に構成された可変抵抗と、交流磁気を励起可能なコイルを備え被検体に渦電流を励起するように当該コイルを配置可能に形成された検査検出器と、被検体と同一構造の基準検体を配置し、前記検査検出器からの出力と比較する基準となる基準状態を検出する基準検出器とを有し、前記第１の抵抗、前記第２の抵抗、前記基準検出器及び前記検査検出器はブリッジ回路を構成し、前記評価装置は、前記第２ショットピーニング処理後にのみ、前記交流ブリッジ回路に交流電力が供給され、前記検査検出器が前記被検体の電磁気特性を検出し、前記基準検

出器が基準状態を検出している状態における前記交流ブリッジ回路からの出力信号としきい値とを比較して、前記被検体の表面特性を評価し、前記被検体に対する前記第１ショットピーニング処理が適正に行われたか否かを判断することを特徴とする表面特性検査装置。

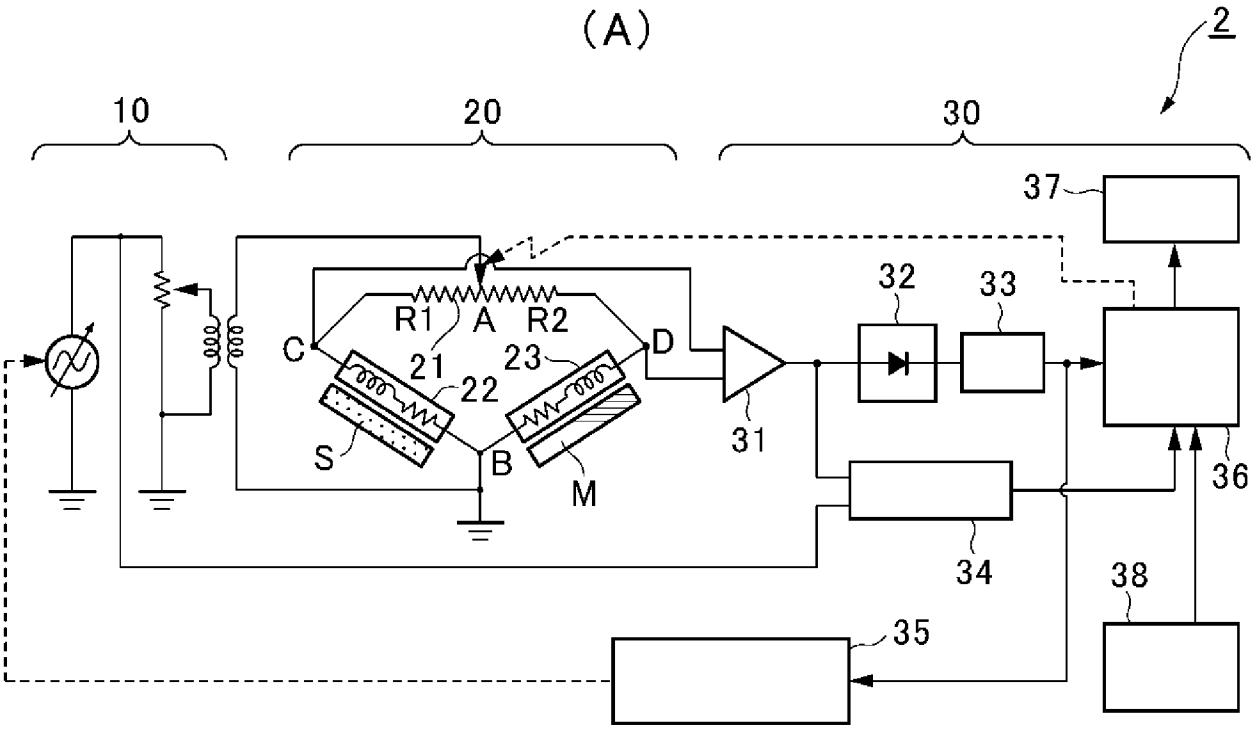
[請求項10] 前記基準検体は、表面処理を施していない未処理品であることを特徴とする請求項９に記載の表面特性検査装置。

[請求項11] 前記コイルは、リッツ線により形成されていることを特徴とする請求項９または請求項１０に記載の表面特性検査装置。

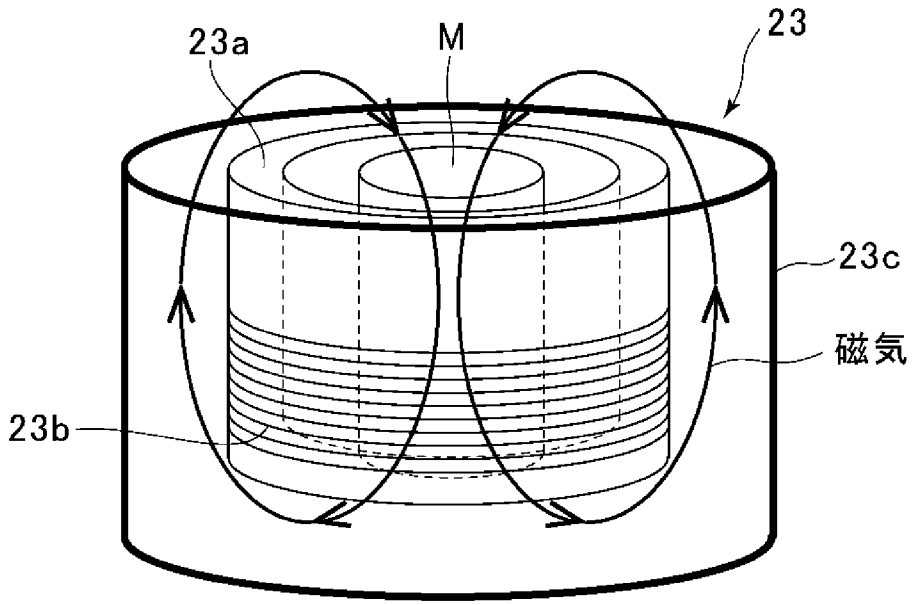
[図1]

FIG.1

(A)

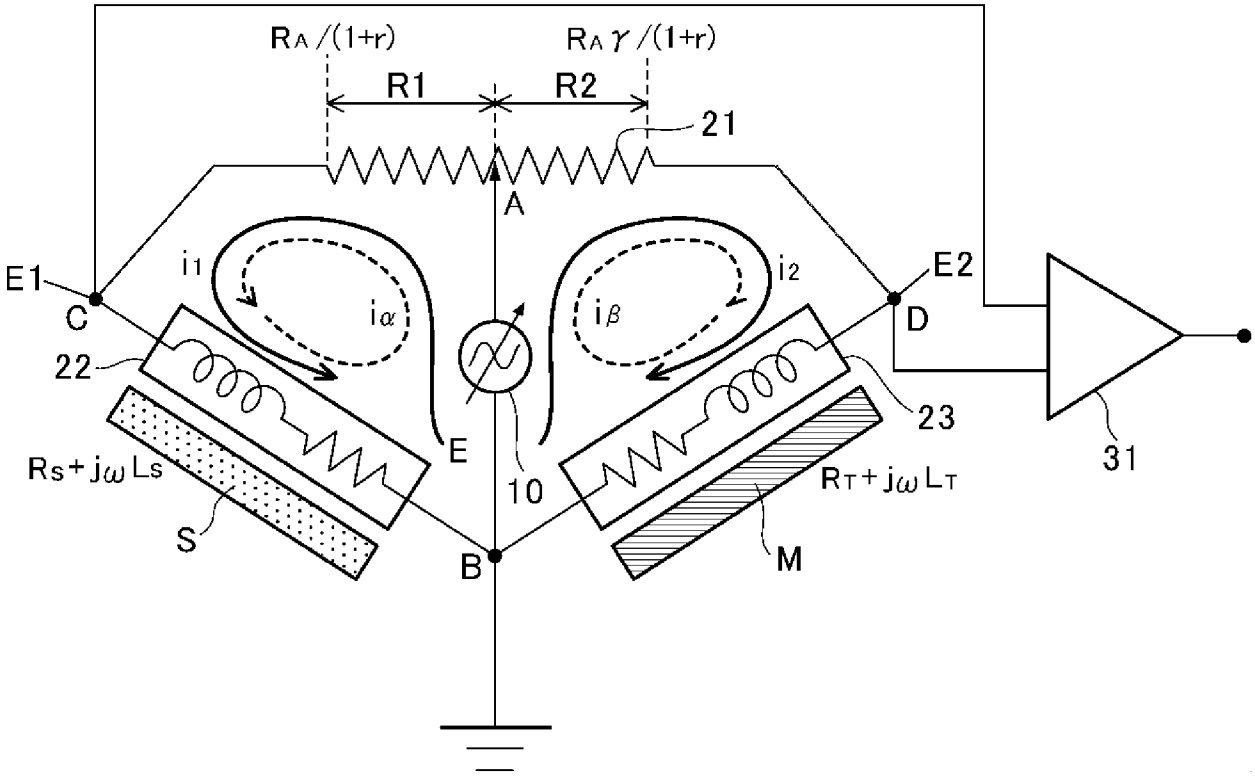

2
10
20
30
37
32
33
R1
A
R2
C
D
21
22
23
S
B
M
31
36
34
38
35

(B)


23a
M
23
23c
磁気
23b

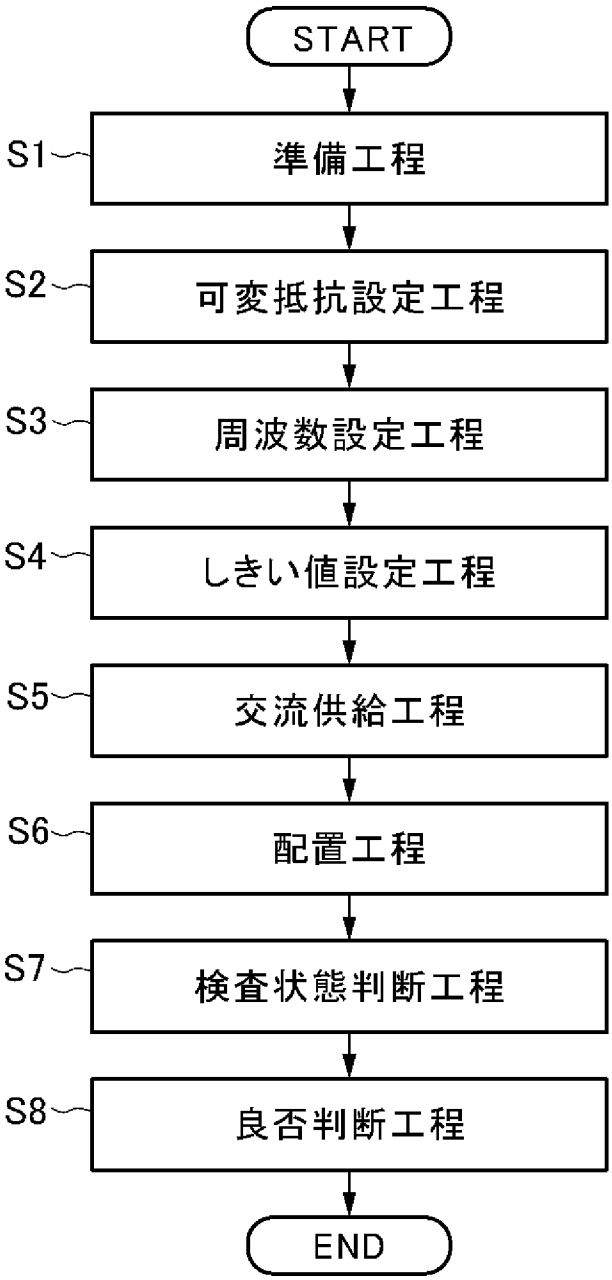
[図2]

FIG.2


RA/(1+r)
RAγ/(1+r)
R1
R2
21
A
E1
C
i1
iα
iβ
i2
E2
D
22
23
E
10
31
Rs+jωLs
RT+jωLT
S
M
B

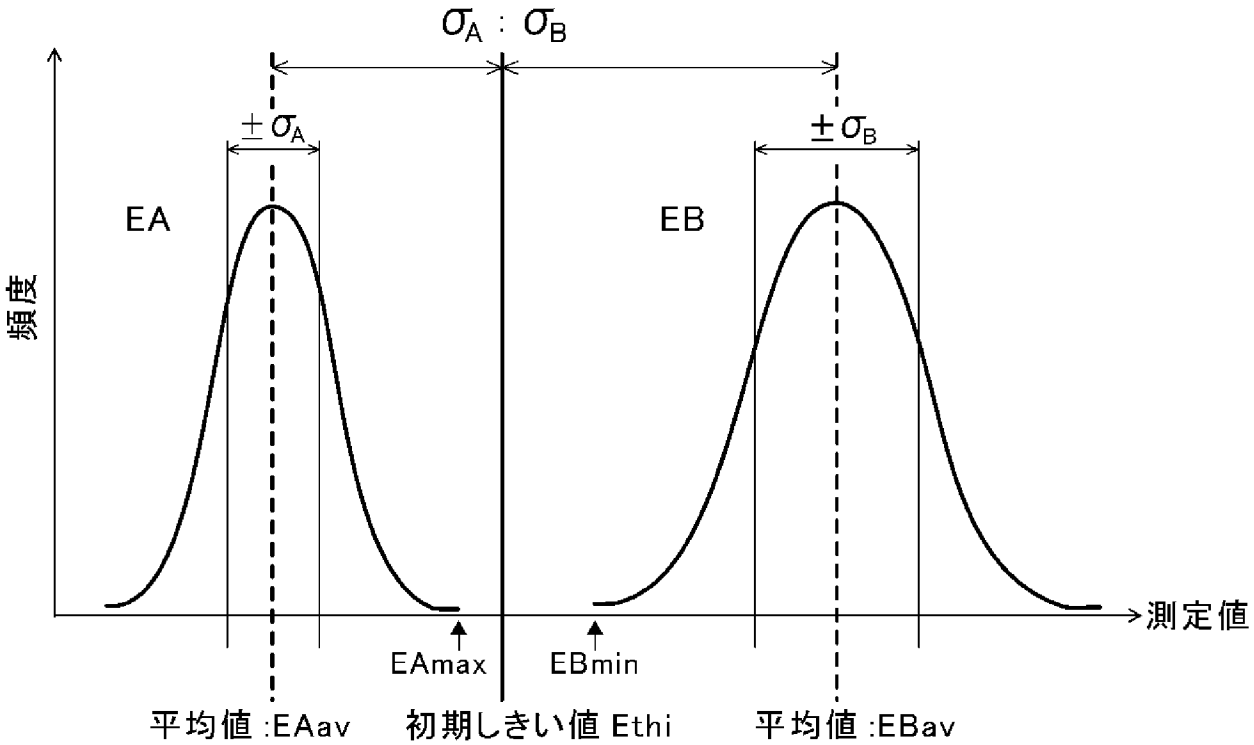
[図3]

FIG.3


START
S1
準備工程
S2
可変抵抗設定工程
S3
周波数設定工程
S4
しきい値設定工程
S5
交流供給工程
S6
配置工程
S7
検査状態判断工程
S8
良否判断工程
END

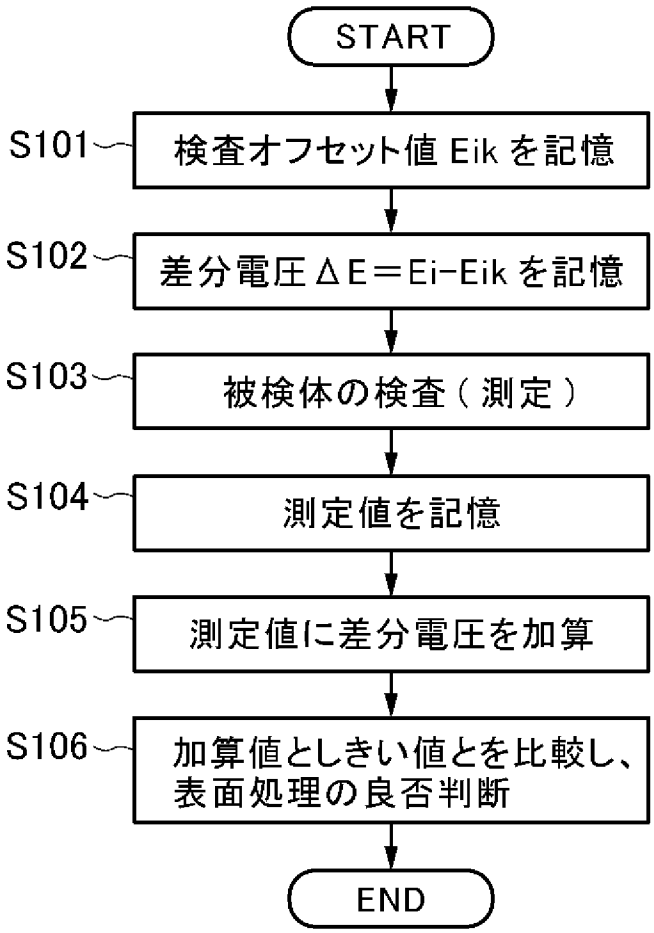
[図4]

FIG.4



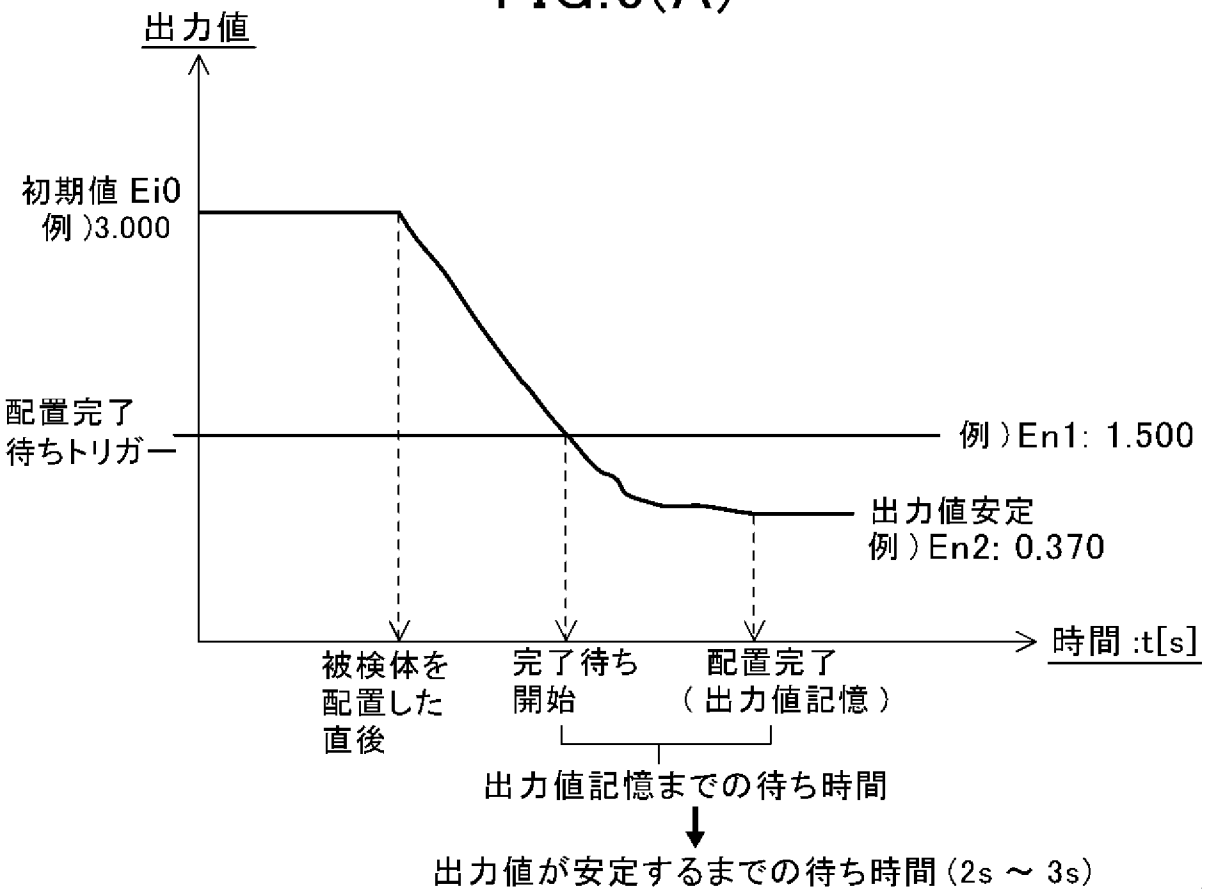
[図5]

FIG.5



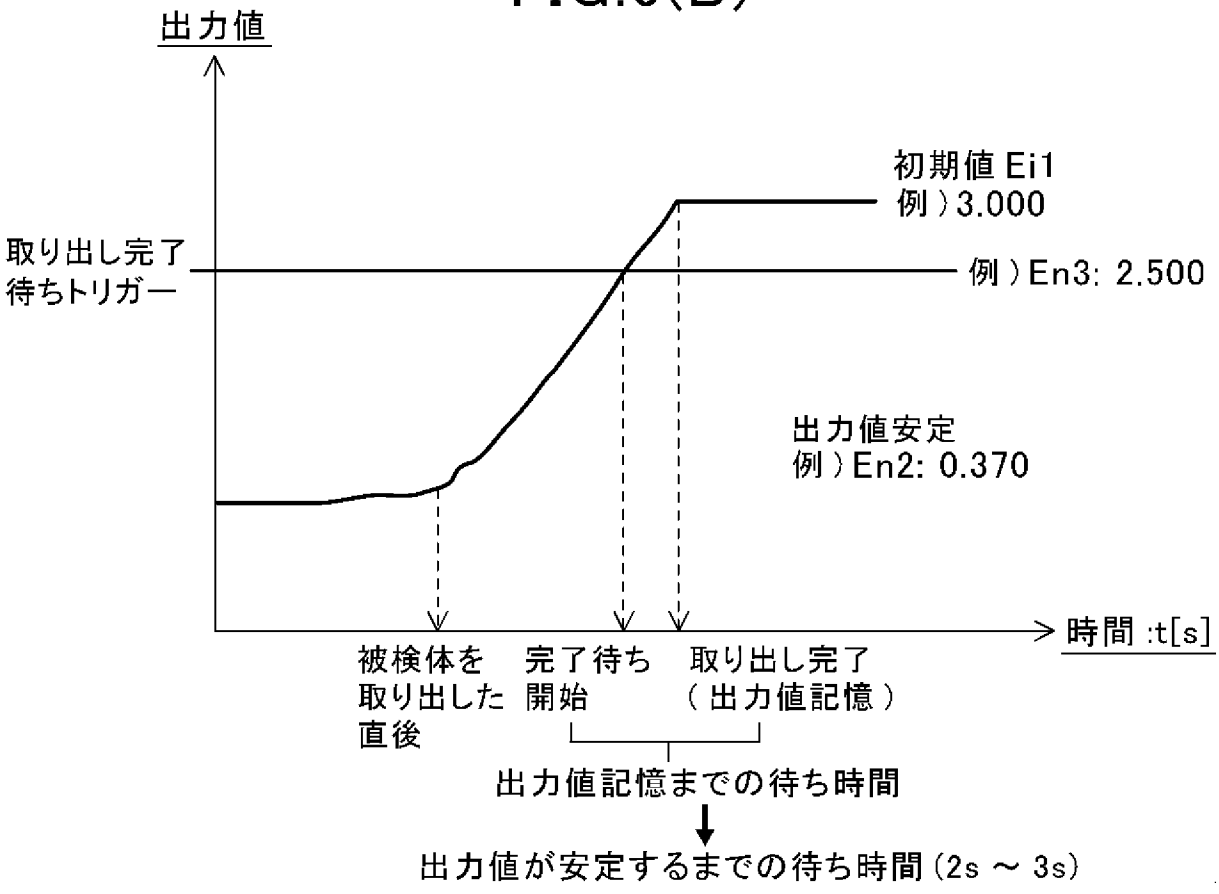
[図6(A)]

FIG.6(A)



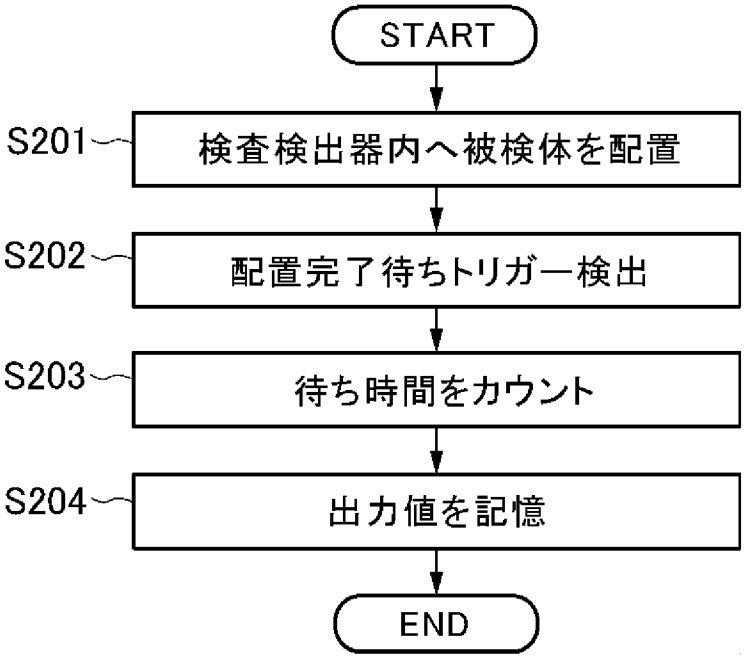
[図6(B)]

FIG.6(B)



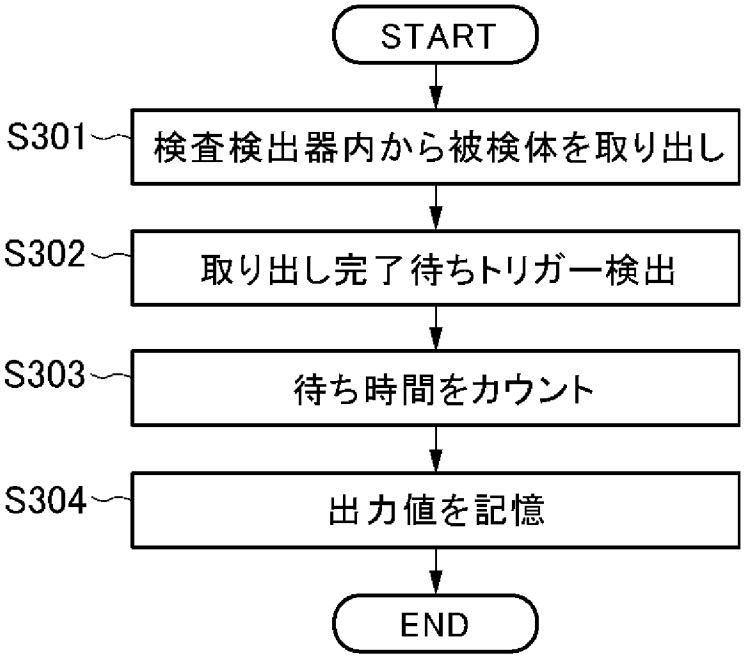
[図7(A)]

FIG.7(A)



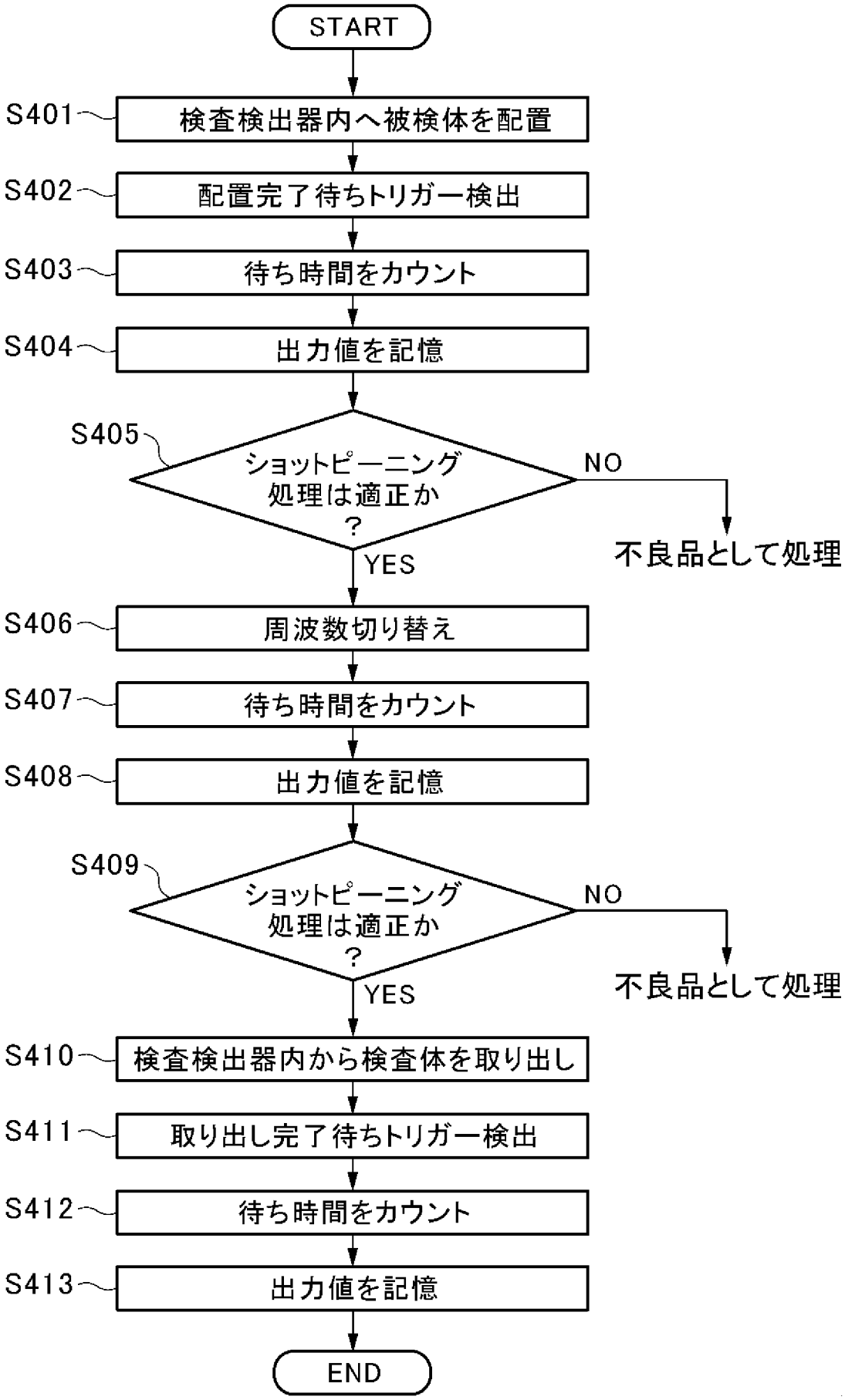
[図7(B)]

FIG.7(B)



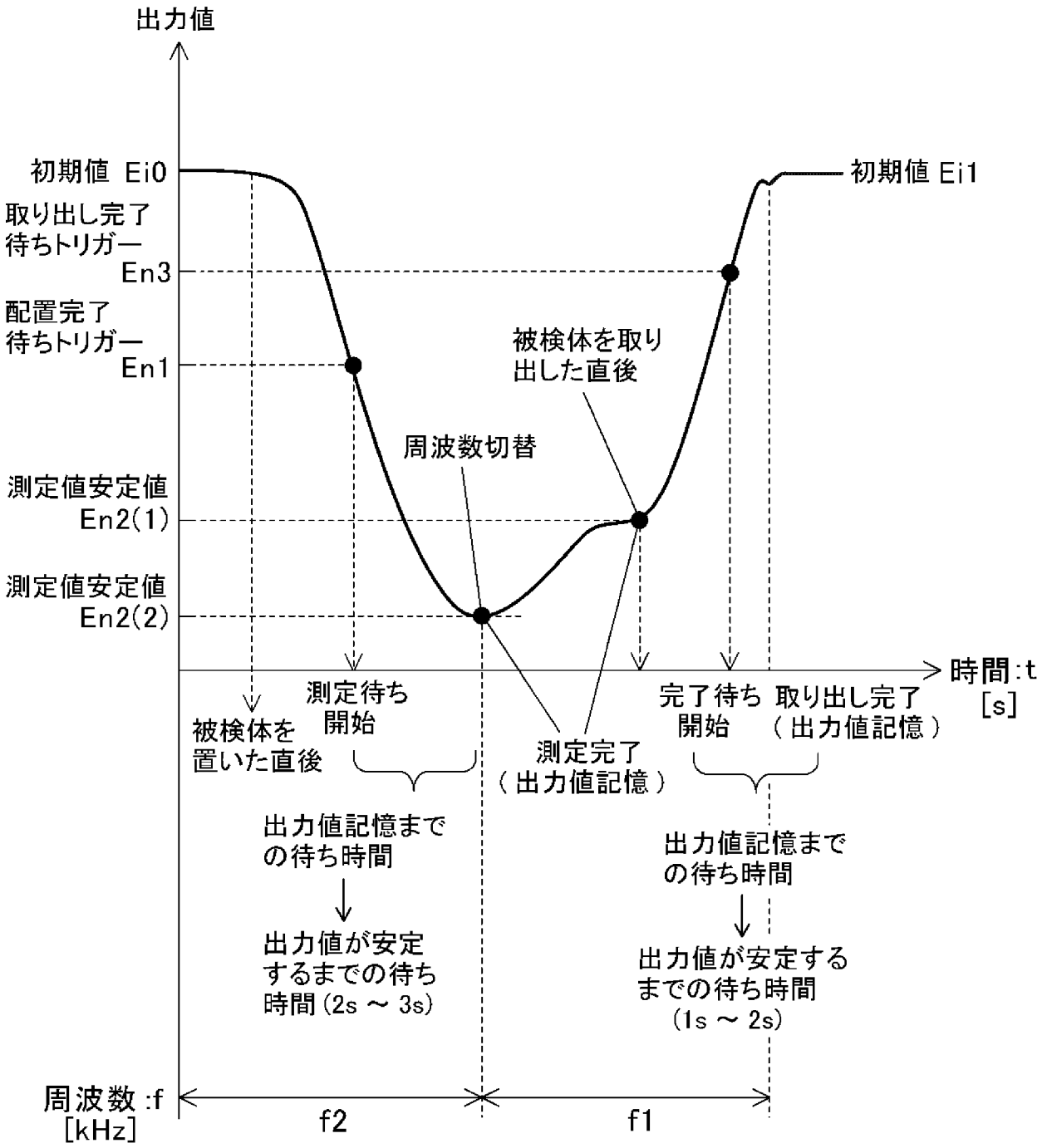
[図8]

FIG.8


START
S401
検査検出器内へ被検体を配置
S402
配置完了待ちトリガー検出
S403
待ち時間をカウント
S404
出力値を記憶
S405
ショットピーニング処理は適正か？
NO
不良品として処理
YES
S406
周波数切り替え
S407
待ち時間をカウント
S408
出力値を記憶
S409
ショットピーニング処理は適正か？
NO
不良品として処理
YES
S410
検査検出器内から検査体を取り出し
S411
取り出し完了待ちトリガー検出
S412
待ち時間をカウント
S413
出力値を記憶
END

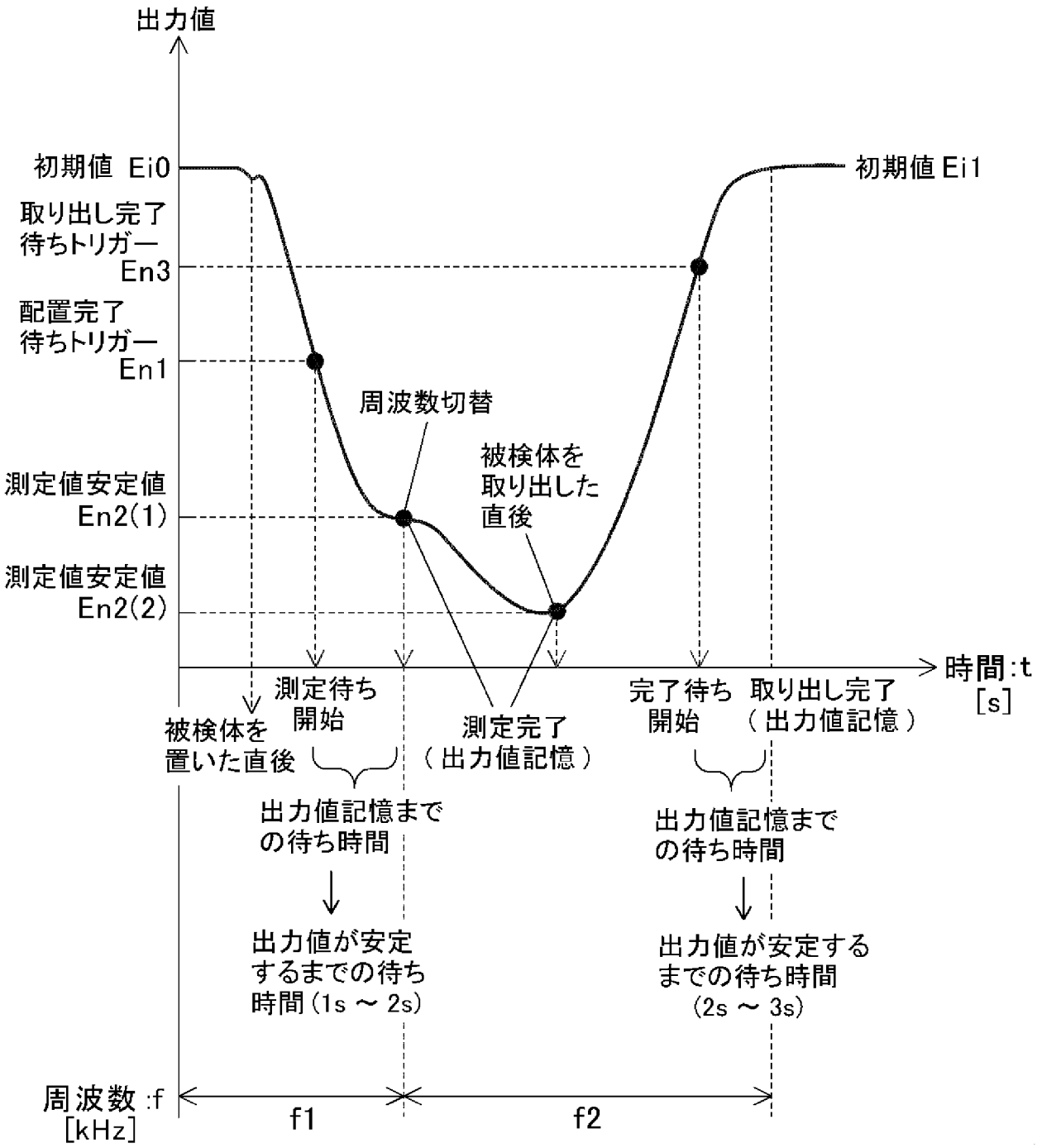
[図9(A)]

FIG.9(A)


出力値
初期値 Ei0
取り出し完了
待ちトリガー
En3
配置完了
待ちトリガー
En1
測定値安定値
En2(1)
測定値安定値
En2(2)
初期値 Ei1
被検体を取り
出した直後
周波数切替
時間:t
[s]
被検体を
置いた直後
測定待ち
開始
測定完了
(出力値記憶)
完了待ち
開始
取り出し完了
(出力値記憶)
出力値記憶まで
の待ち時間
出力値が安定
するまでの待ち
時間(2s ～ 3s)
出力値記憶まで
の待ち時間
出力値が安定する
までの待ち時間
(1s ～ 2s)
周波数:f
[kHz]
f2
f1

[図9(B)]

FIG.9(B)


出力値
初期値 Ei0
取り出し完了
待ちトリガー
En3
配置完了
待ちトリガー
En1
測定値安定値
En2(1)
測定値安定値
En2(2)
周波数切替
被検体を
取り出した
直後
初期値 Ei1
時間:t
[s]
被検体を
置いた直後
測定待ち
開始
測定完了
(出力値記憶)
完了待ち
開始
取り出し完了
(出力値記憶)
出力値記憶まで
の待ち時間
出力値記憶まで
の待ち時間
出力値が安定
するまでの待ち
時間(1s ～ 2s)
出力値が安定する
までの待ち時間
(2s ～ 3s)
周波数:f
[kHz]
f1
f2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/076901

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N27/72(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N27/72-27/90

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2013-529286 A (Sinto Kogyo Ltd.), 18 July 2013 (18.07.2013), paragraphs [0033] to [0075]; fig. 1 to 4 & US 2014/0084910 A1 & EP 2707705 A & WO 2012/153862 A1 & TW 201300772 A & CN 103649744 A & KR 10-2014-0033395 A & MX 2013012997 A	1-6,8-11
Y	JP 10-217122 A (Sinto Kogyo Ltd.), 18 August 1998 (18.08.1998), paragraphs [0004], [0009]; table 1 (Family: none)	1-6,8-11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 09 December 2014 (09.12.14)	Date of mailing of the international search report 22 December 2014 (22.12.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/076901

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 55-007630 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 19 January 1980 (19.01.1980), page 2, lower right column, line 17 to page 3, lower right column, line 12; fig. 2, 4, 5 (Family: none)	2-6,8,10,11
Y	JP 05-203503 A (Toyota Motor Corp.), 10 August 1993 (10.08.1993), paragraphs [0023] to [0027]; fig. 10, 11 (Family: none)	4-6,8
A	JP 2008-002973 A (Fuji Manufacturing Co., Ltd.), 10 January 2008 (10.01.2008), entire text; all drawings & US 2008/0001609 A1 & DE 102007026540 A1 & KR 10-2007-0121506 A & CN 101093205 A	1-11
A	US 5898302 A (Jack Arbuthnott Soules), 27 April 1999 (27.04.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０７６９０１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N27/72(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N27/72-27/90

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamⅢ)

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2013-529286 A (新東工業株式会社) 2013.07.18, 段落【0033】-【0075】, 図 1-4 & US 2014/0084910 A1 & EP 2707705 A & WO 2012/153862 A1 & TW 201300772 A & CN 103649744 A & KR 10-2014-0033395 A & MX 2013012997 A	1-6,8-11
Y	JP 10-217122 A (新東工業株式会社) 1998.08.18, 段落【0004】,【0009】,【表 1】 (ファミリーなし)	1-6,8-11

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０９．１２．２０１４	２２．１２．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｗ　３６０２
蔵田　真彦
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５０

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 55-007630 A (住友金属工業株式会社) 1980.01.19, 第2頁右下欄第17行-第3頁右下欄第12行, 第2, 4, 5図 (ファミリーなし)	2-6,8,10,11
Y	JP 05-203503 A (トヨタ自動車株式会社) 1993.08.10, 段落【0023】-【0027】, 図10, 11 (ファミリーなし)	4-6,8
A	JP 2008-002973 A (株式会社不二製作所) 2008.01.10, 全文全図 & US 2008/0001609 A1 & DE 102007026540 A1 & KR 10-2007-0121506 A & CN 101093205 A	1-11
A	US 5898302 A (Jack Arbuthnott Soules) 1999.04.27, 全文全図 (ファミリーなし)	1-11