

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4822540号  
(P4822540)

(45) 発行日 平成23年11月24日(2011.11.24)

(24) 登録日 平成23年9月16日(2011.9.16)

(51) Int.Cl. F I  
 GO 1 N 27/72 (2006.01) GO 1 N 27/72  
 GO 1 R 33/12 (2006.01) GO 1 R 33/12 Z

請求項の数 3 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2007-56621 (P2007-56621)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成19年3月7日(2007.3.7)		独立行政法人日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2008-216163 (P2008-216163A)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成20年9月18日(2008.9.18)	(73) 特許権者	592244376
審査請求日	平成20年2月28日(2008.2.28)		住友金属テクノロジー株式会社
			兵庫県尼崎市扶桑町1番8号
		(74) 代理人	100134980
			弁理士 千原 清誠
		(74) 代理人	100093469
			弁理士 杉岡 幹二
		(74) 代理人	100083585
			弁理士 穂上 照忠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 局所着磁・磁場測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

金属材料の疲労損傷度を非破壊で検査するための装置であって、被検体を保持し、その水平方向の位置を調整するXY軸テーブルと、該被検体の表面の、幅1mm以下、深さ1mm以下の微小領域を直流磁場により着磁する局所着磁手段と、該微小領域の磁場を測定する磁場測定装置と、該微小領域を消磁する局所消磁手段と、着磁、磁場測定および消磁のプロセスを、位置を変えて逐次行なわせる制御手段とを有し、

局所着磁手段のコアが、パーメンジュール製であり、少なくとも先端から10mmの位置までの間において外径が徐々に増大する形状を有し、しかも、先端の外径が0.2~0.5mmの範囲内、先端から1.25mmの位置での外径が0.5~2.0mmの範囲内、先端から2.5mmの位置での外径が2.0~4.0mmの範囲内、先端から5.0mmの位置での外径が3.0~8.0mmの範囲内、先端から10.0mmの位置での外径が3.0~10.0mmの範囲内であることを特徴とする局所着磁・磁場測定装置。

【請求項2】

局所着磁手段と局所消磁手段とが、一つの装置で構成されていることを特徴とする請求項1に記載の局所着磁・磁場測定装置。

【請求項3】

被検体の両端部より外径が大きい円柱状のガイドで該被検体の両端を保持する被検体つかみ部と、被検体つかみ部を介して被検体を回転させて、該被検体の位置調整を行う被検体回転手段と、を有することを特徴とする請求項1または2に記載の局所着磁・磁場測定

装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、金属材料の疲労損傷度を非破壊で検査するための局所着磁・磁場測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、各種の材料の疲労損傷度を破壊することなく検査する方法としては、硬さ法、X線を利用する方法、超音波を利用する方法、電位差を利用する方法、磁束密度の変化を検出する方法などが知られている。

10

【0003】

例えば、特許文献1には、非磁性材料製被検体に交流磁場を印加して励磁し、被検体に生じる微小な磁場を検出し、それを、微小磁場の特性値の変化と前記被検体の疲労損傷度との関係を示すマスターカーブに当てはめて疲労損傷度を判定する発明が提案されている。この発明においては、センサ部は、逆方向励磁により励磁コイルの磁場の前記センサ部への影響を打ち消した状態での磁場測定を可能とするフラックスゲート磁束計からなるとされている。

【0004】

20

特許文献2には、a)1本の強磁性体棒、強磁性体棒の略中央に巻かれた1つの励磁コイル、及び、その両側に巻かれた2つの検出コイルから成る検出部と、b)上記励磁コイルに交流励磁電流を供給する励磁回路部と、c)上記2つの検出コイルを差動変圧器構成に接続し、その出力信号を励磁電流の位相に基づいて位相解析することにより、オーステナイト系ステンレス鋼製の被検査物の透磁率に応じた電気信号を取り出す処理回路部と、d)処理回路部から取り出される電気信号の変化に基づき、オーステナイト系ステンレス鋼製の被検査物の疲労度を算出する疲労度算出部と、を備えることを特徴とする疲労度測定装置が提案されている。

【0005】

特許文献3には、材料の疲労損傷度を評価する方法であって、被検材に対応する材質の基準片に対して疲労試験を行う工程と、前記疲労試験中の複数の時点において、前記基準片を瞬時強度が既知の交流磁場中に位置せしめるとともに該基準片を位置せしめた場合の磁場強度を測定する工程と、前記測定された磁場強度から疲労特性曲線を求める工程と、前記被検材を瞬時強度が既知の交流磁場中に位置せしめて磁場の強度を測定する工程と、前記被検材について測定された磁場強度を前記疲労特性曲線と照合して被検材の疲労損傷度を求める工程と、を含む材料の疲労損傷度を評価する方法が提案されている。

30

【0006】

出願人の一部は、特許文献4において、(a)被検体である450～800の高温環境下で疲労損傷を受けているオーステナイト系ステンレス鋼を、室温以下で且つ疲労損傷を受けていない同一材料が温度のみでマルテンサイト変態を開始する温度よりも高い温度まで冷却する冷却ステップ、(b)交流磁場を印加して残留磁化を取り除く消磁ステップ、(c)外部磁場を印加する着磁ステップ、(d)磁気特性を測定する測定ステップ、を具備し、上記(a)～(d)までを異なる複数の時点で繰り返し、得られた測定結果から磁気特性の時間的差分の分布を求めることにより、疲労損傷集中領域を特定することを特徴とする高温疲労損傷領域の非破壊検出方法を提案している。

40

【0007】

【特許文献1】特開平6-308092号公報

【特許文献2】特開平8-248004号公報

【特許文献3】特開平7-92139号公報

【特許文献4】特開2006-64390号公報

50

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

本発明者らは、残留磁化を取り除く消磁ステップ、外部磁場を印加する着磁ステップおよび磁気特性を測定する測定ステップを主な工程とする特許文献4で提案した磁場測定方法を基礎として、材料の疲労損傷をより詳細に検出することができる方法を検討した。その結果、本発明者らは、着磁する領域を極力小さくし、材料の局所的な磁場の変化をモニタリングすることにより、より微細な損傷の発見が可能となるなどの効果が得られることを予想し、微小領域の着磁、磁場測定および消磁を可能とする局所着磁・磁場測定装置について検討した。

10

## 【0009】

特許文献1～3で提案された発明では、いずれも交流磁場を印可して、その時点での磁場を測定することとしている。しかし、このような交流磁場を印可する方法では、微小領域を0.数Tで着磁することが困難である。

## 【0010】

一方、材料の疲労損傷を測定する方法としては、交流磁場の第3高調波比とラーソンミラーパラメータとの関係を用いる方法など、様々な方法が知られているが、本発明者らは、材料の疲労損傷を評価する新たな指標を検討した。

## 【0011】

まず、磁化率、保磁力、飽和磁化等も材料の疲労損傷と良い相関があることが予測される。しかし、磁化率、保磁力は、外部磁場を変化させながら連続的に測定する必要があること、飽和磁化は、0.数Tという強い励磁磁場中の材質劣化による磁気特性変化をとらえなければならず、極めて広い測定レンジと高い精度のセンサが必要であることなど、測定装置として考えた場合には、問題が残る。そこで、本発明者らは、測定が比較的容易な残留磁束密度に着目した。

20

## 【0012】

図10は、材料の疲労前後における残留磁束密度の変化を示す図である。なお、図10に示す実験は、SUS304製の試験片を大気中で650℃に加熱した状態で、ひずみ速度0.1%/secにて±0.35%のひずみを連続的に与える疲労試験において、ひずみを与える前(0サイクル)、53サイクル、1204サイクルおよび2405サイクルの試験片に対し、軸方向に着磁後、平行部の残留磁束密度の分布を測定したものである。

30

## 【0013】

なお、図10の縦軸には、2405サイクルにおける残留磁束密度の試験前後での変化量の最大値に対する各サイクルにおける残留磁束密度変化量の最大値の割合(残留磁束密度変化量の最大値比)を示し、横軸には、推定破断サイクル数を4800としたときの各サイクルの割合(寿命比)を示している。

## 【0014】

図10に示すように、残留磁束密度は、寿命比と良い相関関係を有しており、疲労損傷の指標に適していることが分かる。

## 【0015】

本発明者らは、まず、残留磁束密度を静磁場で測定する、つまり、直流磁場の印可により微小領域を着磁し、その時の残留磁束密度を測定する本発明の磁場測定装置を見出した。

40

## 【0016】

ここで、材料の疲労損傷は、主として表層が起点となる。このため、材料全体の磁場を測定しても、平均化されて、疲労損傷の検出精度が低下する場合がある。このため、材料の疲労損傷を測定する上では、材料の微小領域で、かつ表層のみを着磁することが重要である。しかし、直流磁場を前提とする場合、微小領域で、かつ表層のみを着磁するのは困難である。そのため、本発明者らは、着磁手段の材質、形状などを種々検討して、直流磁場により微小領域で、かつ表層のみを着磁し、その時の残留磁束密度を測定することがで

50

きる本発明の磁場測定装置を見出した。

【0017】

本発明者は、さらに、平板状の被検体だけでなく、棒状または管状の被検体の測定も容易にできるよう様々な検討を行った。

【0018】

本発明は、このような研究の結果なされたものであり、被検体の微小領域を着磁し、測定することができる機構、場合によって、被検体の微小領域で、かつ表層のみを着磁し、測定することができる機構を有する磁場測定装置を、さらには、平板状の被検体だけでなく、棒状または管状の被検体の測定も容易に行うことができる磁場測定装置の提供を目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明は、下記の(1)～(4)に示す局所着磁・磁場測定装置を要旨とする。

【0020】

(1) 金属材料の疲労損傷度を非破壊で検査するための装置であって、被検体を保持し、その水平方向の位置を調整するX Y軸テーブルと、該被検体の表面の、幅1 mm以下、深さ1 mm以下の微小領域を直流磁場により着磁する局所着磁手段と、該微小領域の磁場を測定する磁場測定装置と、該微小領域を消磁する局所消磁手段と、着磁、磁場測定および消磁のプロセスを、位置を変えて逐次行なわせる制御手段とを有し、局所着磁手段のコアが、パーメンジュール製であり、少なくとも先端から10 mmの位置までの間において外径が徐々に増大する形状を有し、しかも、先端の外径が0.2～0.5 mmの範囲内、先端から1.25 mmの位置での外径が0.5～2.0 mmの範囲内、先端から2.5 mmの位置での外径が2.0～4.0 mmの範囲内、先端から5.0 mmの位置での外径が3.0～8.0 mmの範囲内、先端から10.0 mmの位置での外径が3.0～10.0 mmの範囲内であることを特徴とする局所着磁・磁場測定装置。

20

【0021】

(2) 局所着磁手段と局所消磁手段とが、一つの装置で構成されていることを特徴とする上記(1)に記載の局所着磁・磁場測定装置。

【0023】

(3) 被検体の両端部より外径が大きい円柱状のガイドで該被検体の両端を保持する被検体つかみ部と、被検体つかみ部を介して被検体を回転させて、該被検体の位置調整を行う被検体回転手段と、を有することを特徴とする上記(1)または(2)に記載の局所着磁・磁場測定装置。

30

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、被検体の微小領域を着磁、測定および消磁することができ、本発明の望ましい態様によれば、被検体の微小領域で、かつ磁場測定面の表層を着磁、測定および消磁することができるので、材料損傷の測定をより詳細に行うことができる。また、さらに、平板状の被検体だけでなく、棒状または管状の被検体の測定も行うことができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

<本発明装置の概要>

図1は、本発明に係る局所着磁・磁場測定装置の例を示す模式図であり、図2は、本発明に係る局所着磁・磁場測定装置による磁場測定手順を示す図である。なお、以下の説明において、X軸方向とは紙面の前後方向、Y軸方向とは紙面の左右方向、Z軸方向とは紙面の上下方向をそれぞれ意味する。

【0026】

図1に示すように、本発明に係る局所着磁・磁場測定装置1は、金属材料の疲労損傷度を非破壊で検査するための装置であって、被検体(試験片)2を保持し、その水平方向の位

50

置を調整する X Y 軸テーブル 3 と、該被検体 2 の表面の微小領域を着磁する局所着磁手段 4 と、該微小領域の磁場を測定する磁場測定装置（磁気センサ）5 と、該微小領域を消磁する局所消磁手段 4 と、着磁、磁場測定および消磁のプロセスを、位置を変えて逐次行なわせる制御手段（P C）6 とを有する装置である。P C では、各種制御とともに、磁場測定結果のデータの保存も行われる。

【0027】

図 2 に示すように、本発明に係る局所着磁・磁場測定装置 1 においては、予め、地磁場等の環境磁気の補正、被検体 2 の残留磁場の除去（消磁）、局所着磁手段 4、磁気センサ 5 等の位置決めなどの事前準備をする（事前準備ステップ）。このとき、制御手段 6 を用いて、着磁、消磁、測定位置等の条件を調整しておく。

10

【0028】

その後、被検体 2 を装置内にセットし、距離センサ（光センサ）7 により被検体 2 の位置を確認し、X Y 軸テーブル 3 を走査して被検体 2 の位置を決定する（位置決定ステップ）。そして、局所着磁手段 4 により被検体 2 の任意の微小領域を着磁し（着磁ステップ）、被検体 2 の着磁領域の磁場を磁気センサ 5 により測定した（測定ステップ）後、局所消磁手段 4 により被検体 2 の着磁領域を消磁する（消磁ステップ）。その後、制御手段 6 により再び X Y 軸テーブル 3 を走査して被検体 2 の位置を変えて、上記のステップを繰り返す。

【0029】

なお、以上の作業は、全て自動で行うこともできるし、手動で行うこともできる。

20

【0030】

<位置決めステップ>

本発明に係る局所着磁・磁場測定装置 1 においては、まず、X Y テーブル 3 上に被検体 2 がセットされる。X Y テーブル 3 は、X 軸精密ステージ 3 - 1、Y 軸精密ステージ 3 - 2 および被検体設置台 3 - 3 などにより構成される。X 軸精密ステージ 3 - 1 および Y 軸精密ステージ 3 - 2 を微調整して被検体 2 の位置決めがなされる。

【0031】

本発明の局所着磁・磁場測定装置 1 は、丸棒状または管状の被検体 2 を回転させて、被検体 2 の位置調整ができる被検体回転手段（被検体設置台 3 - 3）を有することが望ましい。

30

【0032】

図 3 は、被検体つかみ部の例を示す模式図であり、(a) および (b) は平板上の被検体を保持した状態、(c) および (d) は丸棒状または管状の被検体を保持した状態を示す。また、図 4 は、被検体回転手段の例を示す模式図であり、(a) は正面図、(b) は側面図を示す。

【0033】

図 3 (a) および (b) に示すように、検査の対象である平板状の被検体 2 - 1 は、被検体つかみ部 9 に保持された状態で、本発明の局所着磁・磁場測定装置 1 に設置される。ここで、図 3 (a) と (b) とは 90° 回転した状態を示すが、図 3 (a) は、平板状被検体 2 - 1 の側面図であり、図 3 (b) は、平板状被検体 2 - 1 の上面図である。この測定領域は、典型的には、20 mm x 30 mm の範囲であるが、この測定領域内の微小領域毎に、着磁、測定、消磁が行われる。この測定領域は、磁気センサ等の条件を換えることで調整できる。

40

【0034】

図 3 (c) および (d) に示すように、検査の対象である丸棒状または管状の被検体 2 - 2 も、被検体つかみ部 9 に保持された状態で、本発明の局所着磁・磁場測定装置に設置される。上記の例と同様、図 3 (c) と (d) とは 90° 回転した状態を示す。

【0035】

図 4 に示すように、被検体つかみ部 9 は、両端部に被検体 2 - 1 の両端部より外径が大

50

きい円柱状のガイド 9 - 1、9 - 2 を有しており、このガイド 9 - 1、9 - 2 が、被検体設置台 3 - 3 のローラ 10 - 1、10 - 2、10 - 3、10 - 4 上に載置される。その後、図 1 に示す光センサ 7 により、平板状の被検体 2 - 1 の傾きが検知される。傾きがある場合には、ローラ 10 - 1、10 - 2、10 - 3、10 - 4 の回転により、平板状の被検体 2 - 1 を水平状態とする。

【 0 0 3 6 】

一方、丸棒状または管状の被検体 2 - 2 を用いる場合には、ローラ 10 - 1、10 - 2、10 - 3、10 - 4 は別の目的で利用される。丸棒状または管状の被検体 2 - 2 の場合には、被検体最上部において着磁、測定、消磁が行われる。このとき、X 方向の移動は、前述の例と同様に、図 1 に示す X 軸精密ステージ 3 - 1 により行うことができるが、Y 軸精密ステージ 3 - 2 では、丸棒状または管状の被検体 2 - 2 を周方向に移動させることができない。従って、この場合、ローラ 10 - 1、10 - 2、10 - 3、10 - 4 の回転により、丸棒状または管状の被検体 2 - 2 を周方向に移動させることができる。

10

【 0 0 3 7 】

本発明に係る局所着磁・磁場測定装置 1 においては、光センサなどの距離センサ 7 は、必須の構成部材ではない。しかし、前述のように、距離センサ 7 は、平板状の被検体の磁場測定時の水平調整のために必要である。従って、距離センサ 7 を標準装備させておくのがよい。距離センサ 7 としては、例えば、LED 式の距離センサ（オムロン株式会社製 Z4W - V など）を用いることができる。

【 0 0 3 8 】

< 着磁ステップ >

被検体 2 を X Y テーブル 3 上にセットした後、局所着磁手段 4 が被検体 2 上の所定位置に移動され、被検体 2 の任意の微小領域が着磁される。局所着磁機手段 4、磁気センサ 5 および距離センサ 7 は、ともに Z 軸ステージ 8 に保持されており、Z 軸に自在に移動できる構成となっている。

20

【 0 0 3 9 】

局所着磁は、例えば、直流磁場を 100 ~ 100000 msec 印可して、プラス磁場またはマイナス磁場を形成させて行うことができる。図 1 に示す例では、局所着磁と局所消磁とを一つの装置で行うこととしている。このような構成には限定されないが、例えば、省スペース化の観点からは、一つの装置で着磁と消磁を行うのがよい。なお、消磁は、後段で説明するように、交流磁場を与えることにより行う。よって、直流、交流を切り替えることで、一つの装置で着磁と消磁を行うことができる。以下の説明においては、局所着磁手段 4 および局所消磁手段 4 を併せて、局所着磁消磁機 4 と呼ぶ。

30

【 0 0 4 0 】

ここで、被検体の微小領域とは、着磁領域の着磁幅が 20 mm 以下の場合をいう。より望ましい着磁幅は 5 mm 以下、さらに望ましいのは 1 mm 以下である。

【 0 0 4 1 】

上記の着磁領域の着磁幅とは、図 5 に示す X の値を採用すればよい。即ち、X とは、X 方向（または Y 方向）の着磁量の分布曲線（磁束密度曲線）を求め、磁束密度のピーク値  $B_a$  およびベース着磁量（着磁前の磁束密度） $B_b$  の差の  $1/2$  となる位置  $B_h$  における分布曲線の幅を意味する。なお、着磁幅の調整は、局所着磁消磁機 4 のコア材質および形状、電流値等の調整により行うことができる。

40

【 0 0 4 2 】

本発明に係る局所着磁・磁場測定装置 1 においては、被検体 2 の磁場測定表面の表層を着磁できる機構を有することが望ましい。被検体の表層とは、被検体の表面からの深さが 5 mm 以下の範囲を意味する。より望ましいのは 1 mm 以下である。

【 0 0 4 3 】

局所着磁消磁機 4 は、図 1 に示すように、被検体 2 の片面を着磁する構成となっているのがよい。局所着磁消磁機 4 は、被検体の上下に磁極を有し、被検体の両面から着磁する構成のものでも良いが、このような構成のものでは被検体の形状が平板に限定されてしま

50

う。また、被検体の片面を着磁する構成であれば、被検体の表層を着磁することができると共に、着磁時の電流値等を調整することにより、着磁の深さを微調整できるという利点もある。

【 0 0 4 4 】

図 6 は、着磁時の電流値と着磁深さとの関係を示す図である。なお、この試験に用いた局所着磁消磁機のコアとしては、パーメンジュール製で、後段の図 8 の A に示す形状のものを用いた。また、この図では、局所着磁消磁機の電流値を 5 0 0 A、1 0 0 0 A および 1 5 0 0 A に変えた場合の磁束密度と深さとの関係を示している。

【 0 0 4 5 】

図 6 に示すように、例えば、深さが 0 . 5 mm の位置を比較すると、電流値が 5 0 0 A では磁束密度は 4 0 0 G 程度であるが、電流値が 1 0 0 0 A では 6 0 0 G 程度、電流値が 1 5 0 0 A では 7 0 0 G 程度にまで上昇する。このように着磁深さは電流値を調整することで変更することができる。

【 0 0 4 6 】

局所着磁消磁機 4 のコア材質としては、通常用いられる炭素鋼であってもよいが、飽和磁束密度  $B_s$  が 2 . 0 T 以上の高飽和磁束密度材料を用いることが望ましい。高飽和磁束密度材料としては、例えば、パーメンジュール ( F e - C o - 2 V ) がある。パーメンジュールの飽和磁束密度  $B_s$  は 2 . 4 T である。

【 0 0 4 7 】

ここで、被検体の微小領域が着磁幅 2 0 mm 程度で、着磁深さが 5 mm 程度であれば、炭素鋼を用いることができるが、着磁幅 5 mm 以下または着磁深さが 3 mm 以下の場合には、炭素鋼を用いたのでは着磁が不十分となる。従って、このような場合にはパーメンジュールを用いるのが望ましい。

【 0 0 4 8 】

着磁幅が 1 mm 以下で、かつ着磁深さが 1 mm 以下といった極微小範囲だけを着磁するためには、着磁幅が局所着磁手段のコアの形状は、少なくとも先端から 1 0 mm の位置までの間において外径が徐々に増大する形状を有し、しかも、下記の条件を満たしているものを用いる。

【 0 0 4 9 】

図 7 は、コア先端の外径と着磁幅との関係を示す図である。なお、コアの材質としては、いずれの例においてもパーメンジュールを用いた。

【 0 0 5 0 】

図 7 に示すように、コア先端の外径が 1 8 mm の場合、着磁幅 1 6 mm 程度と広い範囲となるが、コア先端の外径が 2 . 0 mm になると着磁領域幅 9 mm 程度となる。さらにコア先端の外径を小さくすると急激に着磁幅が小さくなり、コア先端の外径が 0 . 5 mm になると、着磁幅が 1 mm 程度となる。

【 0 0 5 1 】

このように、コア先端の外径を調整することで、着磁幅を調整することができる。ここで、着磁幅を 1 mm 以下にするにはコア先端の外径を 0 . 5 mm 以下にするのが望ましい。その一方で、コア先端の外径を 0 . 2 mm 未満にすると着磁するのが難しくなる。

【 0 0 5 2 】

図 8 は、各種のコア先端部の形状を示す図であり、図 9 は、それぞれのコア先端部形状に対応する磁束密度分布への影響を示す図である。なお、コアの材質としてはパーメンジュールを用いた。

【 0 0 5 3 】

図 8 に示すように、A ~ D は、先端 ~ 先端から 1 . 2 5 mm までの部分の形状および先端から 5 mm 以上の部分の形状は同一である。図 9 に示すように、これらのうち、被検体表層の着時の中心から 0 . 2 mm 程度以内という局所的な範囲においては、磁束密度は、A が最も高く、B、C、D の順で下がっていく。C および D では、コア先端部の外径変化が急峻すぎるために局所的な磁束密度が低下したと考えられる。また、B は、先端から 5

10

20

30

40

50

mmの位置で、外径を4mmから2mmに変化させたものであるが、CおよびDよりは磁束密度が高いものの、Aには及ばない。即ち、先端から5mm程度の位置ではもう少し緩やかな外径変化が必要である。

【0054】

以上の結果が示すように、局所着磁消磁機のコアの形状としては、先端部から10mmまでの間で、あまりに急激に外径が変化すると、洩れ磁束、磁気抵抗等の影響により先端に到達する磁束密度が小さくなり、十分に着磁できなくなる場合がある。

【0055】

局所着磁消磁機のコアの形状は、具体的には、先端の外径が0.2~0.5mmの範囲内、先端から1.25mmの位置での外径が0.5~2.0mmの範囲内、先端から2.5mmの位置での外径が2.0~4.0mmの範囲内、先端から5.0mmの位置での外径が3.0~8.0mmの範囲内、先端から10.0mmの位置での外径が3.0~10.0mmの範囲内であることが好ましい。

10

【0056】

局所着磁消磁機4は、例えば、上述のコアに、4000ターンのコイルを巻き付けて構成されるものである。そして、コアは、先端部のみ着脱可能な構成とし、形状が異なるチップ(コア先端部)を複数用意しておけば、着磁領域の調整を容易に行うことができる。

【0057】

局所着磁消磁機4のコアの後端部の形状は、特に制限はないが、コアの先端部(着磁時、被検体に近接する部分)とほぼ同一形状とするのがよい。これは、コアの先端部および後端部をコイルから突出した状態で保持し、コイルに通電すると、コアの先端部および後端部共に磁場が発生する。このとき、コアの先端部および後端部の形状をほぼ同一形状とすると、先端部における磁場を後端部で測定することができるので、測定時に発生磁場のモニタリングが可能となる。

20

【0058】

ここで、コアの先端部とほぼ同一形状である後端部の形状とは、先端部と完全に同一形状であること、または、完全に同一形状ではないが、少なくとも、後端部における磁束密度と先端部における磁束密度との誤差が5%以内となる形状であることを意味する。

【0059】

<測定ステップ>

着磁後、着磁された被検体2の微小領域上に磁気センサ5が位置するように、XYステージ3を移動させ、微小領域の磁場(典型的なのは、残留磁束密度。)を測定する。

30

【0060】

本発明において使用される磁場測定装置(磁気センサ)5には、特に制限はないが、例えば、3次元MIセンサ(アイチ・マイクロ・インテリジェント株式会社製AMI302など)、ワイドレンジMIセンサ(同社製WIDE-MIなど)およびフラックスゲートセンサ(株式会社NEOMAX製SMT-FGなど)の1種以上を用いることができる。これらのセンサは、感度が異なるため、検知する磁場の条件により種々選択すればよい。

【0061】

また、X、YおよびZの3軸方向の磁場(磁束密度)を測定する場合には、3軸センサを用いることもできるが、センサの感磁位置がXY軸上で異なる。従って、1軸センサを3つ用意し、X、YおよびZの3軸それぞれの方向の検出時に、XYテーブルを移動させて、微調整を行いながら、各方向の磁場測定を行うのがよい。

40

<消磁ステップ>

磁場測定が終わると、XYステージ3を制御して、上記被検体の微小領域上に局所着磁消磁機4を移動させて、消磁を行う。局所消磁は、例えば、交流磁場を100~1000msの間隔で徐々に減衰させながら印可することにより行うことができる。

【0062】

着磁ステップ、測定ステップおよび消磁ステップのサイクルを位置を変えて適宜行うことにより、被検体2の磁場の分布を詳細に測定することができる。

50



## 【産業上の利用可能性】

## 【0063】

本発明によれば、被検体の微小領域を着磁、測定および消磁することができ、本発明の望ましい態様によれば、被検体の微小領域で、かつ磁場測定面の表層を着磁、測定および消磁することができるので、材料損傷の測定をより詳細に行うことができる。また、さらに、平板状の被検体だけでなく、棒状または管状の被検体の測定も行うことができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0064】

【図1】本発明に係る局所着磁・磁場測定装置の例を示す模式図である。

【図2】本発明に係る局所着磁・磁場測定装置による磁場測定手順を示す図である。

10

【図3】被検体つかみ部の例を示す模式図であり、(a)および(b)は平板上の被検体を保持した状態、(c)および(d)は丸棒状または管状の被検体を保持した状態を示す。

【図4】被検体回転手段の例を示す模式図であり、(a)は正面図、(b)は側面図を示す。

【図5】着磁領域の着磁幅を説明する図である。

【図6】時の電流値と着磁深さとの関係を示す図である。

【図7】コアの先端形状と着磁領域との関係を示す図である。

【図8】各種のコア先端部の形状を示す図である。

【図9】それぞれのコア先端部形状に対応する磁束密度分布への影響を示す図である。

20

【図10】材料の疲労前後における残留磁束密度の変化を示す図である

## 【符号の説明】

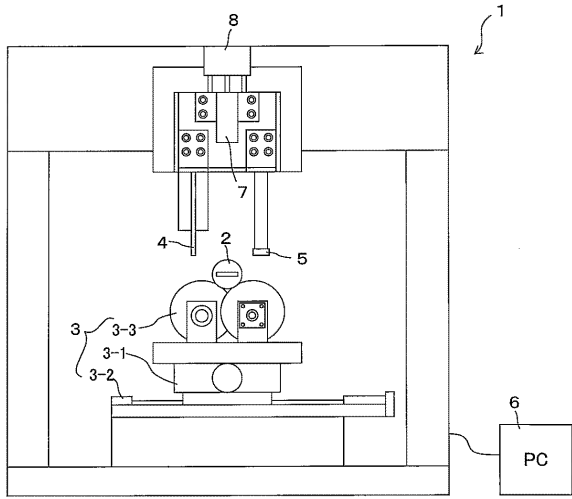
## 【0065】

1. 局所着磁・磁場測定装置
2. 被検体(試験片)
  - 2-1. 平板状の被検体
  - 2-2. 丸棒状または管状の被検体
3. X Y軸テーブル
  - 3-1. X軸精密ステージ
  - 3-2. Y軸精密ステージ
  - 3-3. 被検体回転手段(被検体設置台)
4. 局所着磁消磁機(局所着磁手段、局所消磁手段)
5. 磁場測定装置(磁気センサ)
6. 制御手段(PC)
7. 光センサ
8. Z軸ステージ
9. 被検体つかみ部
  - 9-1、9-2. ガイド
10. モータ
  - 10-1、10-2、10-3、10-4. ローラ

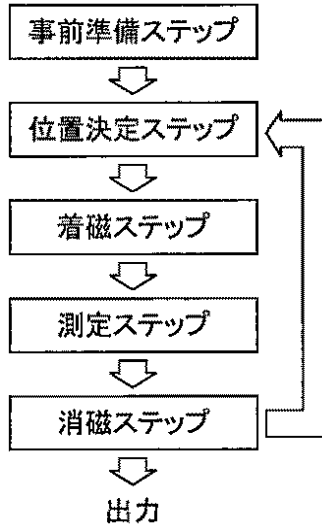
30

40

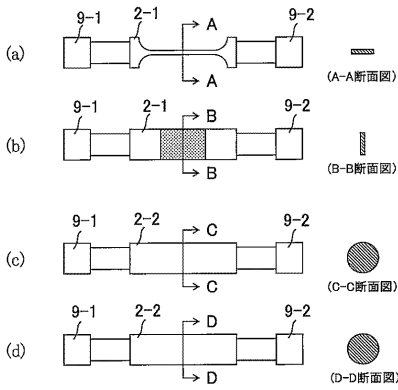
【図1】



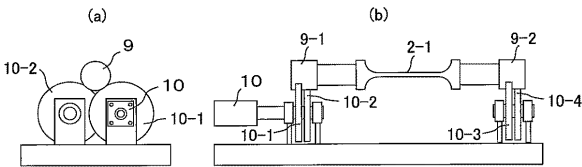
【図2】



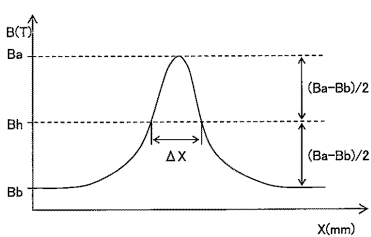
【図3】



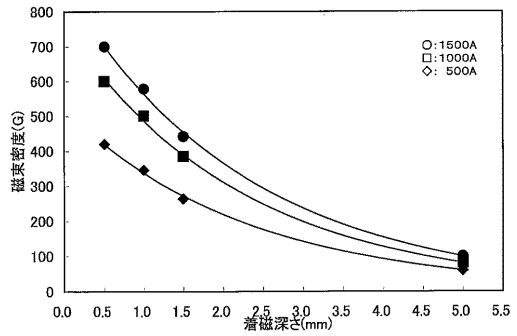
【図4】



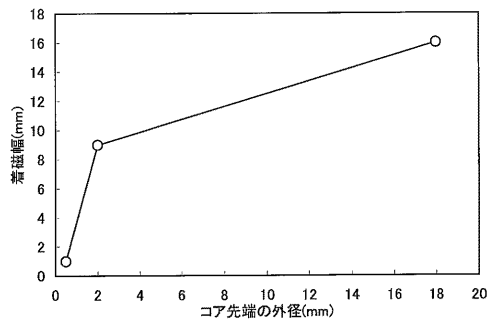
【図5】



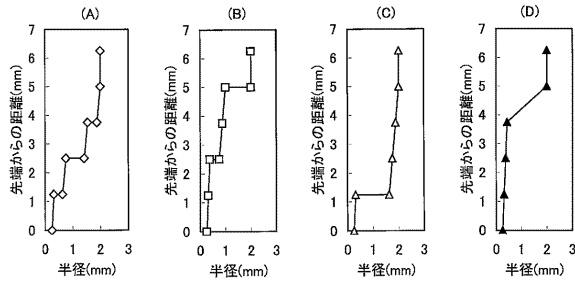
【図6】



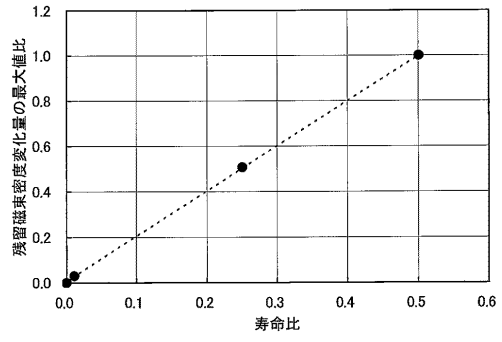
【図7】



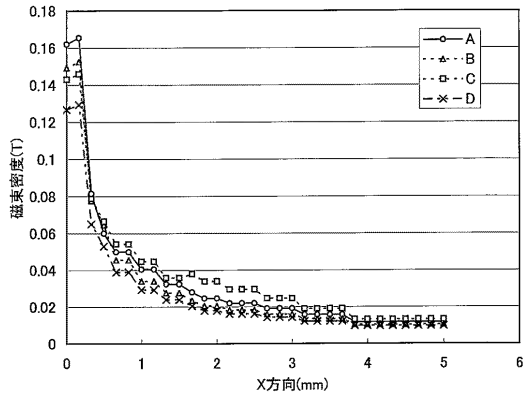
【図8】



【図10】



【図9】



## フロントページの続き

- (72)発明者 永江 勇二  
茨城県東茨城郡大洗町成田町4002  
機構 大洗研究開発センター内  
独立行政法人日本原子力研究開発
- (72)発明者 高屋 茂  
茨城県東茨城郡大洗町成田町4002  
機構 大洗研究開発センター内  
独立行政法人日本原子力研究開発
- (72)発明者 樺田 理  
兵庫県尼崎市扶桑町1番8号  
住友金属テクノロジー株式会社内

審査官 中村 祐一

- (56)参考文献 特開昭63-083662(JP,A)  
特開2006-064390(JP,A)  
特開平11-023536(JP,A)  
特開2007-033043(JP,A)  
特開2006-258481(JP,A)  
特開平07-239304(JP,A)  
国際公開第2006/103910(WO,A1)  
特開2005-162379(JP,A)  
特開昭62-066156(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N27/72-27/90  
G01R33/00-33/26