

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5576840号
(P5576840)

(45) 発行日 平成26年8月20日(2014.8.20)

(24) 登録日 平成26年7月11日(2014.7.11)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 R 33/12 (2006.01) G O 1 R 33/12 M

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2011-188653 (P2011-188653)	(73) 特許権者	304028726 国立大学法人 大分大学 大分県大分市大字旦野原700番地
(22) 出願日	平成23年8月31日(2011.8.31)	(74) 代理人	100114661 弁理士 内野 美洋
(65) 公開番号	特開2013-50390 (P2013-50390A)	(72) 発明者	中畑 和 大分県大分市高江西1丁目4361-10 財団法人大分県産業創造機構内
(43) 公開日	平成25年3月14日(2013.3.14)	(72) 発明者	バルトツシュ ボルコヴスキー 大分県大分市高江西1丁目4361-10 財団法人大分県産業創造機構内
審査請求日	平成24年11月29日(2012.11.29)	(72) 発明者	榎園 正人 大分県大分市高江西1丁目4361-10 財団法人大分県産業創造機構内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気特性測定センサー及び同センサーを用いた磁気特性測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

永久磁石の外周に装着して磁気特性を測定するための磁気特性測定センサーにおいて、
永久磁石の試験片(2)を挿通させる中空部(9)を形成し外周部の中央部の円周方向にコイル溝(10)を形成した円筒状でセラミック製の内側ホルダー(7)を備え、前記内側ホルダー(7)のコイル溝(10)に、永久磁石の磁束密度を測定するためのBコイル(4)と、前記Bコイル(4)の外周に絶縁シート(11)を介して永久磁石の磁界強度の測定に用いるHコイル(5)とを巻回し、前記内側ホルダー(7)を挿通して収容する中空部(12)を形成し外周部の中央部の円周方向にコイル溝(13)を形成した円筒状でセラミック製の外側ホルダー(8)を備え、前記外側ホルダー(8)のコイル溝(13)に永久磁石の磁化の測定に用いるMコイルを巻回し、前記Mコイル(6)の外周に絶縁シート(14)を配置し、前記Bコイル(4)と前記Hコイル(5)と前記Mコイル(6)とは互いに同軸状に巻回し且つ前記Bコイル(4)と前記Hコイル(5)は巻数を同一にすると共に、前記Bコイル(4)と前記Mコイル(6)を直列に接続し且つ巻数及び断面積との積を同一にして、永久磁石の磁束密度と磁界強度と磁化とを測定することを特徴とする磁気特性測定センサー。

【請求項2】

請求項1に記載の磁気特性測定センサーを永久磁石の試験片2の伸延方向の中央部の外周に装着し、前記磁気特性測定センサーの前記Bコイル(4)の誘導電圧を積分して磁束密度を測定し、前記Bコイル(4)と前記Mコイル(6)を直列に接続し経時的に測定した電圧を積分した値から磁化を測定し、前記Bコイル(4)と前記Hコイル(5)の各々で経時的に

測定した電圧の差を積分した値から磁界強度を測定することを特徴とする磁気特性測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石の磁気特性を測定するための磁気特性測定センサー及び同センサーを用いた磁気特性測定方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

永久磁石は、磁束密度や磁界強度や磁化をパラメーターとして用いて磁気特性が評価される。そして、永久磁石の磁気特性を測定する方法としては、日本工業規格に「永久磁石試験方法」として規格されている（非特許文献1参照。）。

【0003】

この日本工業規格で定められた「永久磁石試験方法」によれば、測定対象となる永久磁石と電磁石とで閉磁気回路を構成し、磁束密度を測定するためのBコイルと磁気分極の測定に用いるJコイルと磁界強度を測定するHセンサーとを用いて、永久磁石の磁気特性を測定する。

【0004】

ここで、永久磁石の磁束密度は、永久磁石の周囲にBコイルを巻回し、Bコイルの誘導電圧を積分することで測定する。また、永久磁石の磁化（磁気分極）は、永久磁石の周囲にJコイルを巻回するとともに永久磁石の周囲に巻回していないBコイルをJコイルに互いに電氣的に打ち消し合うように接続することでBコイルを空隙補償コイルとして用い、Jコイルの誘導電圧を積分することで測定する。また、磁界強度は、永久磁石の側方近傍にフラットサーチコイルや磁気ポテンシオメーターやホールプローブなどのHセンサーを配置して測定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【非特許文献1】日本工業規格 JIS C 2501 「永久磁石試験方法」

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところが、上記した日本工業規格で定められた「永久磁石試験方法」では、永久磁石の磁界強度や磁化の測定において必ずしも測定誤差が十分小さいものとは言えず、永久磁石の磁界強度や磁化といった磁気特性を正確に評価することが困難であった。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の特徴とするところは、次の(1)～(2)の通りである。

(1) 永久磁石の外周に装着して磁気特性を測定するための磁気特性測定センサーにおいて、

永久磁石の試験片2を挿通させる中空部9を形成し外周部の中央部の円周方向にコイル溝10を形成した円筒状でセラミック製の内側ホルダー7を備え、前記内側ホルダー7のコイル溝10に、永久磁石の磁束密度を測定するためのBコイル4と、前記Bコイル4の外周に絶縁シート11を介して永久磁石の磁界強度の測定に用いるHコイル5とを巻回し、前記内側ホルダー7を挿通して収容する中空部12を形成し外周部の中央部の円周方向にコイル溝13を形成した円筒状でセラミック製の外側ホルダー8を備え、前記外側ホルダー8のコイル溝13に永久磁石の磁化の測定に用いるMコイル6を巻回し、前記Mコイルの外周に絶縁シート14を配置し、前記Bコイル4と前記Hコイル5と前記Mコイル6とは互いに同軸状に巻回し且つ前記Bコイル4と前記Hコイル5は巻数を同一にすると共に

10

20

30

40

50

前記 B コイル 4 と前記 M コイル 6 の巻数及び断面積との積を同一にして、永久磁石の磁束密度と磁界強度と磁化とを測定することを特徴とする磁気特性測定センサー。

(2) 前記(1)に記載の磁気特性測定センサーを永久磁石の試験片 2 の伸延方向の中央部の外周に装着し、前記磁気特性測定センサーの前記 B コイル 4 の誘導電圧を積分して磁束密度を測定し、前記 B コイル 4 と前記 M コイル 6 を直列に接続し経時的に測定した電圧を積分した値から磁化を測定し、前記 B コイル 4 と前記 H コイル 5 の各々で経時的に測定した電圧の差を積分した値から磁界強度を測定することを特徴とする磁気特性測定方法。

【発明の効果】

【0011】

そして、本発明では、永久磁石の磁気特性を測定するための磁気特性測定センサーにおいて、永久磁石の磁束密度を測定するための B コイルと、永久磁石の磁界強度の測定に用いる H コイル及び永久磁石の磁化の測定に用いる M コイルとを、永久磁石の周囲に同軸状に巻回することにより、永久磁石の磁気特性を測定するにあたって永久磁石の磁界強度や磁化の測定誤差を小さくすることができ、永久磁石の磁気特性を従来よりも正確に評価することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】本発明に係る磁気特性測定センサーを示す正面断面図。

【図 2】同側面断面図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に、本発明に係る磁気特性測定センサー及び同センサーを用いた磁気特性測定方法の具体的な構成について図面を参照しながら説明する。

【0014】

図 1 に示すように、磁気特性測定センサー 1 は、所定長さの円柱状に形成した永久磁石の試験片 2 を挿通させたホルダー 3 に B コイル 4 と H コイル 5 と M コイル 6 とを巻回している。ここで、B コイル 4 は、試験片 2 の磁束密度を測定するためのコイルであり、H コイル 5 は、B コイル 4 とともに用いて試験片 2 の磁界強度を測定するためのコイルであり、M コイル 6 は、B コイル 4 とともに用いて試験片 2 の磁化を測定するためのコイルである。

30

【0015】

ホルダー 3 は、試験片 2 を挿通させた円筒状の内側ホルダー 7 と、内側ホルダー 7 の外周に装着した円筒状の外側ホルダー 8 とで構成している。

【0016】

内側ホルダー 7 は、試験片 2 を挿通させるために試験片 2 の径の寸法公差を考慮した内径の中空部 9 を形成するとともに、外周部にコイル溝 10 を円周方向に向けて形成している。コイル溝 10 には、B コイル 4 を巻回するとともに、B コイル 4 の外周部に H コイル 5 を絶縁シート 11 を介して巻回している。これにより、H コイル 5 は、試験片 2 の周囲において試験片 2 に対して B コイル 4 と同軸状、かつ、同心円上に配置されている。また、H コイル 5 は、巻数が B コイル 4 と同一となるようにしている。

40

【0017】

外側ホルダー 8 は、内側ホルダー 7 を挿通させるために中空部 12 を形成するとともに、外周部にコイル溝 13 を円周方向に向けて形成している。コイル溝 13 には、M コイル 6 を巻回するとともに、M コイル 6 の外周部に絶縁シート 14 を被覆している。M コイル 6 は、巻数と断面積との積が B コイル 4 と同一となるようにしている。この外側ホルダー 8 は、コイル溝 13 を内側ホルダー 7 のコイル溝 10 の外周部に位置させており、これにより、M コイル 6 は、試験片 2 の周囲において試験片 2 に対して B コイル 4 及び H コイル 5 と同軸状、

50

かつ、同心円上に配置されている。

【 0 0 1 8 】

上記磁気特性測定センサー 1 では、試験片 2 と各コイル 4, 5, 6 とを近接させて配置するとともに、各コイル 4, 5, 6 やホルダー 3 の熱等による変形を防止することで、測定精度をより一層向上させることができる。そのため、上記磁気特性測定センサー 1 では、ホルダー 3 (内側ホルダー 7、外側ホルダー 8) を薄くても強度を確保でき耐熱性に優れたセラミック材で形成し、また、薄くて耐熱性を有する絶縁シート 11 を介して B コイル 4 に H コイル 5 を巻回している。

【 0 0 1 9 】

磁気特性測定センサー 1 は、以上に説明したように構成しており、この磁気特性測定センサー 1 を用いて試験片 2 の磁気特性を測定することができる。

【 0 0 2 0 】

磁気特性を測定するには、試験片 2 の伸延方向の略中央部に磁気特性測定センサー 1 を装着するとともに、日本工業規格で定められた「永久磁石試験方法」と同様に測定対象と試験片 2 と電磁石とで閉磁気回路を構成し、試験片 2 の磁束密度や磁化や磁界強度を測定する。

【 0 0 2 1 】

磁束密度を測定する場合には、試験片 2 の周囲に巻回した B コイル 4 の誘導電圧を積分することで測定できる。

【 0 0 2 2 】

磁化を測定する場合には、試験片 2 の周囲に同軸状に巻回した B コイル 4 と M コイル 6 とを用い、以下に説明するように、M コイル 6 を空隙補償コイルとして利用することで測定できる。

【 0 0 2 3 】

まず、それぞれの B コイル 4 と M コイル 6 とで得られる磁束密度 B_B 、 B_M は、磁界強度を H 、磁化を M 、透磁率を μ_0 とすると、式 1 で示される。

【数 1】

$$\begin{cases} B_B = \mu_0 (H + M) \\ B_M = \mu_0 (H + M) \end{cases} \dots (式 1)$$

【 0 0 2 4 】

この式 1 を、B コイル 4 と M コイル 6 とで得られる磁束 ϕ_B 、 ϕ_M で表すと、B コイル 4 と M コイル 6 と試験片 2 の断面積をそれぞれ S_B 、 S_M 、 S_S とすると、式 2 に変形できる。

【数 2】

$$\begin{cases} \phi_B = S_B \mu_0 H + S_S \mu_0 M \\ \phi_M = S_M \mu_0 H + S_S \mu_0 M \end{cases} \dots (式 2)$$

【 0 0 2 5 】

そして、B コイル 4 と M コイル 6 とを直列接続したときに計測される電圧 e_{BM} は、B コイル 4 と M コイル 6 の巻数をそれぞれ N_B 、 N_M とすると、式 3 で示される。この式 3 に上記式 2 を代入して展開すると、電圧 e_{BM} は、式 4 に変形できる。

10

20

30

40

【数3】

$$\begin{aligned}
 e_{BM} &= -N_B \frac{d\phi_B}{dt} + N_M \frac{d\phi_M}{dt} \cdots \text{(式3)} \\
 &= -\left(N_B S_B \mu_0 \frac{dH}{dt} + N_B S_S \mu_0 \frac{dM}{dt}\right) + \left(N_M S_M \mu_0 \frac{dH}{dt} + N_M S_S \mu_0 \frac{dM}{dt}\right) \\
 &= -N_B S_B \mu_0 \frac{dH}{dt} + N_M S_M \mu_0 \frac{dH}{dt} - N_B S_S \mu_0 \frac{dM}{dt} + N_M S_S \mu_0 \frac{dM}{dt} \\
 &= -(N_B S_B - N_M S_M) \mu_0 \frac{dH}{dt} - (N_B - N_M) S_S \mu_0 \frac{dM}{dt} \cdots \text{(式4)}
 \end{aligned}$$

【0026】

10

ここで、Bコイル4とMコイル6は、巻数と断面積との積が同一（ $N_B S_B = N_M S_M$ ）であることから、式4は、式5と表せる。

【数4】

$$e_{BM} = -(N_B - N_M) S_S \mu_0 \frac{dM}{dt} \cdots \text{(式5)}$$

【0027】

したがって、磁化は、式5を積分して変形することで式6を用いて求めることができ、Bコイル4とMコイル6とを直列接続したときに経時的に計測される電圧 e_{BM} を積分回路で積分した値から測定することができる。

20

【数5】

$$M(t) = -\frac{1}{\mu_0 (N_B - N_M) S_S} \int e_{BM}(t) dt \cdots \text{(式6)}$$

【0028】

ここで、磁化は、試験片2に巻回していない空隙補償コイルをBコイル4に互いに電氣的に打ち消し合うように接続したときに計測される電圧 e から式7を用いて測定することもできる。

【数6】

$$M(t) = -\frac{1}{\mu_0 N_B S_S} \int e(t) dt \cdots \text{(式7)}$$

30

【0029】

しかしながら、直径10mm、長さ20mmの純度99.99%のニッケル、コバルト、鉄からなる試験片2について実際に測定し、理論値との相対的な誤差を算出したところ、式6を用いた場合には、各試験片2について1.3%、2.74%、1.52%であったのに対して、式7を用いた場合には、各試験片2について16.1%、17.2%、14.7%となった。

【0030】

このことから、上記磁気特性測定センサー1のように試験片2の周囲に同軸状に巻回したBコイル4とMコイル6とを用いて測定することにより、測定誤差を小さくできることが示された。

40

【0031】

また、試験片2の端部近傍では反磁界の影響を大きく受けるために、測定誤差が大きくなるおそれがある。そこで、直径10mm、純度99.99%の長さ4mm、10mm、20mm、30mmの試験片2について伸延方向の中央部に磁気特性測定センサー1を装着して実際に測定し、理論値との相対的な誤差を算出したところ、各試験片2について26.7%、7.6%、1.1%、0.9%となった。

【0032】

このことから、上記磁気特性測定センサー1を試験片2に装着する場合には、反磁界の

50

影響が無くなるように試験片 2 の端部から磁気特性測定センサー 1 をなるべく離して装着する必要があり、長さ 20mm 以上の試験片 2 の伸延方向の中央部に装着することが望ましい。

【 0 0 3 3 】

以上のようにして磁化を精度良く測定することができるため、上記磁束密度と磁化とを用いて式 8 に示される関係式から磁界強度を算出することができる。

【数 7】

$$B = \mu_0 (H + M) \dots (式 8)$$

【 0 0 3 4 】

また、磁界強度は、試験片 2 の周囲に同軸状に巻回した B コイル 4 と H コイル 5 とを用い、以下に説明するように、H コイル 5 を空隙補償コイルとして利用することで測定することもできる。

10

【 0 0 3 5 】

まず、それぞれの B コイル 4 と H コイル 5 とで得られる磁束密度 B_B 、 B_H は、磁界強度を H 、磁化を M 、透磁率を μ_0 とすると、式 9 で示される。

【数 8】

$$\begin{cases} B_B = \mu_0 (H + M) \\ B_H = \mu_0 (H + M) \end{cases} \dots (式 9)$$

20

【 0 0 3 6 】

この式 9 を、B コイル 4 と H コイル 5 とで得られる磁束 B_B 、 B_H で表すと、B コイル 4 と H コイル 5 と試験片 2 の断面積をそれぞれ S_B 、 S_H 、 S_S とし、B コイル 4 と H コイル 5 の巻数をそれぞれ N_B 、 N_H とすると、式 10 に変形できる。

【数 9】

$$\begin{cases} \Phi_B = \mu_0 N_B S_B H + \mu_0 N_B S_S M \\ \Phi_H = \mu_0 N_H S_H H + \mu_0 N_H S_S M \end{cases} \dots (式 10)$$

【 0 0 3 7 】

そして、H コイル 5 と B コイル 4 とでそれぞれ計測される電圧 e_H 、 e_B の差は、式 11 で示される。この式 11 に上記式 10 を代入して展開すると、電圧 e_H 、 e_B の差は、式 12 に変形できる。

30

【数 10】

$$\begin{aligned} e_H - e_B &= -\frac{d\Phi_H}{dt} + \frac{d\Phi_B}{dt} \dots (式 11) \\ &= -\mu_0 \left(N_H S_H \frac{dH}{dt} + N_H S_S \frac{dM}{dt} \right) + \mu_0 \left(N_B S_B \frac{dH}{dt} + N_B S_S \frac{dM}{dt} \right) \\ &= -\mu_0 N_H S_H \frac{dH}{dt} + \mu_0 N_B S_B \frac{dH}{dt} - \mu_0 N_H S_S \frac{dM}{dt} + \mu_0 N_B S_S \frac{dM}{dt} \\ &= -\mu_0 (N_H S_H - N_B S_B) \frac{dH}{dt} - \mu_0 (N_H - N_B) S_S \frac{dM}{dt} \dots (式 12) \end{aligned}$$

40

【 0 0 3 8 】

ここで、B コイル 4 と H コイル 5 は、巻数が同一 ($N_B = N_H$) であることから、式 12 は、式 13 と表せる。

【数 11】

$$e_H - e_B = -\mu_0 (N_H S_H - N_B S_B) \frac{dH}{dt} \dots (式 13)$$

【 0 0 3 9 】

50

したがって、磁界強度は、式 13 を積分して変形することで式 14 を用いて求めることができ、H コイル 5 と B コイル 4 とでそれぞれ経時的に計測される電圧 e_H 、 e_B の差を積分回路で積分した値から測定することができる。

【数 12】

$$H(t) = -\frac{1}{\mu_0(N_H S_H - N_B S_B)} \int (e_H - e_B) dt \dots \text{(式 14)}$$

【0040】

以上に説明したように、本発明では、試験片 2 の磁気特性を測定する磁気特性測定センサー 1 において、磁束密度を測定するための B コイル 4 と、B コイル 4 とともに用いて磁界強度を測定するための H コイル 5 と、B コイル 4 とともに用いて磁化を測定するための M コイル 6 とを、試験片 2 の周囲に同軸状に巻回している。

10

【0041】

そのため、本発明では、試験片 2 の磁気特性を測定するにあたって磁界強度や磁化の測定誤差を小さくすることができ、試験片 2 の磁気特性を従来よりも正確に評価することができる。

【0042】

特に、本発明では、H コイル 5 又は M コイル 6 と B コイル 4 とを試験片 2 の周囲に同軸上、かつ、同心円上に配置することで、磁気特性測定センサー 1 及び同センサー 1 を用いた測定システムの小型化を図ることもできる。

20

【0043】

また、本発明では、H コイル 5 の巻数を B コイル 4 の巻数と同一とし、或いは、M コイル 6 の断面積と巻数との積を B コイル 4 の断面積と巻数との積と同一とすることで、経時的に計測される電圧を積分回路で積分することで磁界強度や磁化を容易に測定することができる。

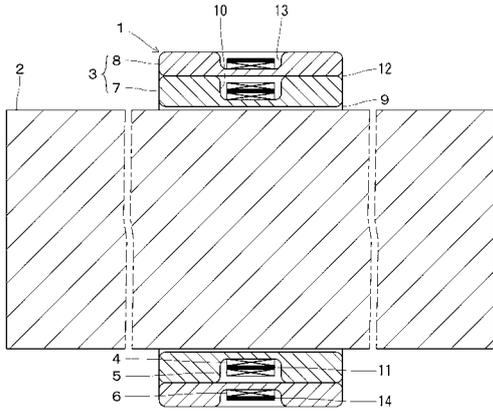
【符号の説明】

【0044】

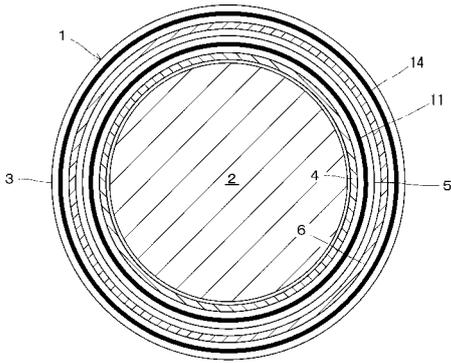
1 磁気特性測定センサー	2 試験片
3 ホルダー	4 B コイル
5 H コイル	6 M コイル
7 内側ホルダー	8 外側ホルダー
9 中空部	10 コイル溝
11 絶縁シート	12 中空部
13 コイル溝	14 絶縁シート

30

【図1】



【図2】



フロントページの続き

審査官 荒井 誠

(56)参考文献 実公昭49-042213(JP,Y1)
特開平08-338864(JP,A)
特開昭62-187268(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
G01R 33/12-33/18