

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4283263号
(P4283263)

(45) 発行日 平成21年6月24日(2009.6.24)

(24) 登録日 平成21年3月27日(2009.3.27)

(51) Int. Cl. F I
G O 1 L 3 / 1 0 (2006.01) G O 1 L 3 / 1 0 3 O 1 D

請求項の数 3 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2005-306134 (P2005-306134)	(73) 特許権者	000005326
(22) 出願日	平成17年10月20日(2005.10.20)		本田技研工業株式会社
(65) 公開番号	特開2007-114059 (P2007-114059A)		東京都港区南青山二丁目1番1号
(43) 公開日	平成19年5月10日(2007.5.10)	(74) 代理人	100067356
審査請求日	平成18年5月26日(2006.5.26)		弁理士 下田 容一郎
		(74) 代理人	100094020
			弁理士 田宮 寛社
		(72) 発明者	原田 仁
			栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台6番地1 ホン
			ダエンジニアリング株式会社内
		(72) 発明者	吉本 信彦
			栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台6番地1 ホン
			ダエンジニアリング株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁歪式トルクセンサの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁歪式トルクセンサの回転軸の残留オーステナイト含有量を測定する残留オーステナイト含有量測定工程と、

前記回転軸に磁歪膜を形成する磁歪膜形成工程と、

前記残留オーステナイト含有量測定工程で得られた測定情報に応じた加熱処理条件に基づき前記磁歪膜に磁気異方性を付加する磁気異方性付加工程と、

を有することを特徴とする磁歪式トルクセンサの製造方法。

【請求項2】

前記磁気異方性付加工程は、前記回転軸に対して、所定の捩りトルクを加えた状態で、前記残留オーステナイト含有量測定工程で測定した残留オーステナイト含有量に応じた加熱処理時間に基づき熱処理を行う熱処理工程を含むことを特徴とする請求項1記載の磁歪式トルクセンサの製造方法。

【請求項3】

前記残留オーステナイト含有量測定工程では、前記回転軸の周囲に検出コイルを配置し、この検出コイルに交流電流を給電して励磁し、前記検出コイルで間接的に前記回転軸のシャフトインピーダンスを測定し、測定された前記シャフトインピーダンスに基づいて前記残留オーステナイト含有量を求めることを特徴とする請求項1または2記載の磁歪式トルクセンサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁歪式トルクセンサの製造方法に関し、特に、回転軸の材料の磁気特性のバラツキの問題を製造プロセスを改善することで解消してセンサ感度特性のバラツキを少なくした磁歪式トルクセンサの製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば自動車の操舵系として装備される電動パワーステアリング装置では、一般的に、運転者の操舵操作によってステアリングホイールからステアリング軸に加えられる操舵トルクを操舵トルク検出部によって検出する。操舵トルク検出部には、最近では、磁歪式トルクセンサが提案されている。上記のステアリング軸は、操舵操作による回転力を受けて回転する回転軸として機能し、操舵トルク検出部でその回転軸となっている。電動パワーステアリング装置は、当該操舵トルク検出部から検出されたトルク信号に応じて、操舵力補助用のモータを駆動制御し、運転者の操舵力を軽減して快適な操舵フィーリングを与える。

10

【0003】

上記電動パワーステアリング装置に用いられる操舵トルク検出部として、上記のごとく磁歪式トルクセンサが知られている。この磁歪式トルクセンサは、ステアリング軸の表面の所定の2箇所に、互いに逆向きの磁気異方性を持つ磁歪膜を備えている。磁歪式トルクセンサは、ステアリング軸にステアリングホイールからトルクが作用したときに、ステアリング軸に生じる捩れに応じた磁歪膜の磁歪特性の変化を非接触で検出するセンサ構成を有している。

20

【0004】

上記のごとき磁歪式トルクセンサを製造するプロセスでは、上記ステアリング軸の一部の所定表面、すなわち回転軸における所定の軸方向幅の円周表面に磁歪膜を形成し、この磁歪膜に磁気異方性を付加する工程が必要である。磁歪式トルクセンサの製造において磁歪膜に磁気異方性を付加する従来の方法は、例えば電解めっき処理により磁歪材めっき部（磁歪膜）を形成した回転軸に対して捩りトルクを作用させ、回転軸の円周表面に応力を付与し、この応力付与状態にて恒温槽において当該回転軸を加熱処理するという方法であった（例えば、特許文献1参照）。

30

【特許文献1】特開2002-82000号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

電動パワーステアリング装置の操舵トルク検出部に用いられる磁歪式トルクセンサは、高機能でセンサ特性のバラツキが少ないものであることが望まれている。磁歪式トルクセンサの磁歪膜が形成されるステアリング軸には、低コストで、強度・加工性に優れる構造用鋼材が用いられる。

【0006】

上記の構造用鋼材としては例えばSK材、SCM材、SNC材等が使用される。これらの材料は磁性材料であるが、成分としては、非磁性の残留オーステナイトが含まれている。上記の構造用鋼材から成るステアリング軸は、その製造段階での熱処理条件（焼入れ、焼戻し等）、組成などによって、残留オーステナイト含有量が異なる。残留オーステナイト含有量が異なると、これによりステアリング軸の磁気特性が変化する。一般的なステアリング軸の製造方法によれば、通常、5～15%程度の範囲で含有量のバラツキを有する残留オーステナイトを含むステアリング軸が納品される。その後、このステアリング軸に対して磁歪膜作製のための加熱処理が行われる。この加熱処理によれば、ステアリング軸の磁気特性の違いに応じて磁歪膜の加熱状態が変化し、最終的な磁歪式トルクセンサのセンサ感度特性が大きく変化することが判明した。例えば、残留オーステナイト含有量が10%変化すると、最終的なセンサ感度特性は10%以上変化してしまう。

40

50

【 0 0 0 7 】

以上のごとく、本発明者らは、ステアリング軸の残留オーステナイトの含有量の違いにより、ステアリング軸の表面に形成された磁歪膜に磁気異方性を付加するときの加熱処理時において、同一条件の加熱でも、ステアリング軸表面付近の温度に違いが生じてしまうということを見出した。そのため、残留オーステナイト含有量に違いがあると、製造した磁歪式トルクセンサにセンサ感度特性のバラツキが生じてしまうという問題があることを見出した。

【 0 0 0 8 】

そのような磁歪式トルクセンサのセンサ感度特性のバラツキを低減させる1つの方法として、ステアリング軸自体における残留オーステナイト含有量のバラツキを低減することが考えられる。しかしながら、実際に、ステアリング軸の製造段階でその残留オーステナイト含有量の制御を数%のオーダで行うことは高い技術的困難性を要求される。そのため、仮に残留オーステナイト含有量が制御されたステアリング軸が製造されたとしても、当該ステアリング軸は非常に高価なものとなる。

【 0 0 0 9 】

一方、一般的に用いられている残留オーステナイト含有量の異なるステアリング軸を使用し、従来の製造方法で磁歪式トルクセンサを製造した場合、その製造された磁歪式トルクセンサのセンサ感度特性はバラツキが大きいため、作業者は、磁歪式トルクセンサを電動パワーステアリング装置に組み付ける際に、磁歪式トルクセンサのセンサ感度特性を調整しなければならない。そのため、電動パワーステアリング装置などを製造する組立工程が複雑になり、その製造コストも増加してしまう。

【 0 0 1 0 】

實際上、前述のごとく、完成した磁歪式トルクセンサのセンサ感度特性が10%以上変化する場合には、センサ歩留まりが下がり、組立工程での特性調整を極めて困難なものにしている。

【 0 0 1 1 】

本発明の目的は、上記の課題を鑑み、磁性材料で作られた回転軸の中の非磁性相である残留オーステナイト含有量を把握して磁性膜の加熱処理時間等を制御することによりセンサ感度特性のバラツキを少なくすることができ、これによりセンサ歩留まりを向上し、さらに、低コストで、かつ磁歪式トルクセンサの組付けを容易に行うことができ、組立工程全体を簡素化し、作業者の負担を軽減することができる磁歪式トルクセンサの製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明に係る磁歪式トルクセンサの製造方法は、上記の目的を達成するため、次のように構成される。

【 0 0 1 3 】

第1の磁歪式トルクセンサの製造方法(請求項1に対応)は、磁歪式トルクセンサの回転軸の残留オーステナイト含有量を測定する残留オーステナイト含有量測定工程と、回転軸に磁歪膜を形成する磁歪膜形成工程と、残留オーステナイト含有量測定工程で得られた測定情報に応じた加熱処理条件に基づき磁歪膜に磁気異方性を付加する磁気異方性付加工程とを有することで特徴づけられる。

【 0 0 1 4 】

上記の製造方法によれば、最初に、ステアリング軸等の回転軸の残留オーステナイト含有量を測定する。そして、磁気異方性付加工程で磁歪膜基礎材(磁歪材めっき部)に所定の捩りトルクを加えた状態で回転軸の残留オーステナイト含有量ごとに異なる加熱処理条件で熱処理を行うようにすることによって、残留オーステナイト含有量が異なり磁気特性の異なる回転軸でも、磁歪式トルクセンサのセンサ感度特性のバラツキをなくし、均一なセンサ感度特性を得ることを可能にする。なお上記の「加熱処理条件」とは、加熱処理時間や加熱出力などを含む広い概念である。

【0015】

第2の磁歪式トルクセンサの製造方法（請求項2に対応）は、上記の方法において、好ましくは、磁気異方性付加工程は、回転軸に対して、所定の捩りトルクを加えた状態で、残留オーステナイト含有量測定工程で測定した残留オーステナイト含有量に応じた加熱処理時間に基づき熱処理を行う熱処理工程を含むことを特徴とする。

【0016】

第3の磁歪式トルクセンサの製造方法（請求項3に対応）は、上記の方法において、好ましくは、残留オーステナイト含有量測定工程では、回転軸の周囲に検出コイルを配置し、この検出コイルに交流電流を給電して励磁し、検出コイルで間接的に回転軸のシャフトインピーダンスを測定し、測定されたシャフトインピーダンスに基づいて残留オーステナイト含有量を求めることを特徴とする。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば次の効果を奏する。本発明によれば、磁歪膜作製時に磁歪式トルクセンサに使用する回転軸の残留オーステナイト含有量を非破壊検査で測定し、当該回転軸の残留オーステナイト含有量に基づいてランク付けを行い、回転軸の磁歪膜に磁気異方性を付加する工程においてランク付けされた回転軸ごとに異なる加熱処理条件を設定して加熱処理を行うようにしたため、もともと残留オーステナイト含有量が少ない高価な回転軸材料を用いることなく、従来の回転軸材を用いて、加熱処理装置を変更することなく加熱処理を行って、低コストでセンサ感度特性のバラツキを少なくすることができる。これによりセンサ歩留まりを向上することができる。さらに、センサ感度特性のバラツキを少なくできるので、磁歪式トルクセンサの組付けを容易に行うことができ、組立工程全体を簡素化し、作業者の負担を軽減することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下に、本発明の好適な実施形態（実施例）を添付図面に基づいて説明する。

【0019】

最初に図1～図3を参照して磁歪式トルクセンサについて説明する。図1～図3は本発明に係る磁歪式トルクセンサの製造方法で製造される磁歪式トルクセンサの一構造例を示している。図1は磁歪式トルクセンサの基本的構造を示す一部断面側面図を示し、図2は磁歪式トルクセンサの基本的構成を概念的に示す側面図を示し、図3は上記磁歪式トルクセンサを操舵トルク検出部として電動パワーステアリング装置のステアリング軸に組み込んだ具体的構造の縦断面図を示している。

【0020】

図1と図2に示すように磁歪式トルクセンサ10は、回転軸11と、この回転軸11の周囲に配置される1つの励磁コイル12と2つの検出コイル13A、13Bとから構成されている。回転軸11は、図1と図2では、説明の便宜上、上部および下部を切断し省略して示している。

【0021】

回転軸11は、図3に示した利用例を参照すると、例えばステアリング軸21の一部として構成される。回転軸11は、その軸心11aの周りに矢印Aのごとく右回転（時計回り）または左回転（反時計回り）の回転力（トルク）を受ける。回転軸11は例えばクロムモリブデン鋼材（SCM材）等の金属棒で形成されている。回転軸11には、軸方向にて上下2箇所に磁歪膜14A、14Bが設けられている。磁歪膜14A、14Bの各々は、回転軸11の軸方向にて一定の幅を有しかつ回転軸11の円周方向の全周に渡って形成されている。各磁歪膜14A、14Bの軸方向の幅寸法、および2つの磁歪膜14A、14Bの間隔寸法は条件に応じて任意に設定される。磁歪膜14A、14Bは、実際には、電解めっき加工処理等により回転軸11の表面に磁歪材めっき部として形成される。この磁歪材めっき部に磁気異方性加工を施すことにより、磁気異方性を有する磁歪膜14A、14Bが形成される。

【 0 0 2 2 】

以下の説明では、説明の便宜上、「磁歪膜 1 4 A , 1 4 B」と「磁歪材めっき部 (1 4 A , 1 4 B)」は同一物を指すが、製造の段階・状況に応じて使い分けている。原則的に、磁気異方性を付加されて完成した段階を「磁歪膜 1 4 A , 1 4 B」といい、その前の段階では「磁歪材めっき部 (1 4 A , 1 4 B)」という。

【 0 0 2 3 】

上記の励磁コイル 1 2 と検出コイル 1 3 A , 1 3 B は、図 1 に示すごとく、回転軸 1 1 の表面に形成された 2 つの磁歪膜 1 4 A , 1 4 B のそれぞれに対応して設けられる。すなわち、図 1 に示されるように、磁歪膜 1 4 A の周囲には隙間を介在させて検出コイル 1 3 A が配置される。リング状の検出コイル 1 3 A は、磁歪膜 1 4 A の全周囲を囲み、かつ検出コイル 1 3 A の軸方向の幅寸法は磁歪膜 1 4 A の軸方向の幅寸法と略等しい。また磁歪膜 1 4 B の周囲には隙間を介在させて検出コイル 1 3 B が配置される。同様に、リング状の検出コイル 1 3 B は、磁歪膜 1 4 B の全周囲を囲み、かつ検出コイル 1 3 B の軸方向の幅寸法は磁歪膜 1 4 B の軸方向の幅寸法と略等しい。さらに、2 つの検出コイル 1 3 A , 1 3 B のそれぞれの周囲にはリング状の励磁コイル 1 2 が配置される。図 1 では、磁歪膜 1 4 A , 1 4 B のそれぞれに対応して個別に励磁コイル 1 2 が設けられるように図示されているが、実際には 1 つの励磁コイル 1 2 の 2 つの部分に分けて示したものである。検出コイル 1 3 A , 1 3 B と励磁コイル 1 2 は、回転軸 1 1 の周囲に回転軸 1 1 を囲むように設けられたリング状の支持枠部 1 5 A , 1 5 B を利用して磁歪膜 1 4 A , 1 4 B の周囲スペースに巻設されている。

【 0 0 2 4 】

図 2 では、回転軸 1 1 の磁歪膜 1 4 A , 1 4 B に対して配置される励磁コイル 1 2 と検出コイル 1 3 A , 1 3 B を電気的關係として概念的に示している。磁歪膜 1 4 A , 1 4 B に対して共通に配置される励磁コイル 1 2 には、励磁用交流電流を常時に供給する交流電源 1 6 が接続されている。また、磁歪膜 1 4 A , 1 4 B のそれぞれに対応して配置される検出コイル 1 3 A , 1 3 B の各出力端子からは、検出対象であるトルクに対応する誘導電圧 V_A , V_B が出力される。

【 0 0 2 5 】

上記磁歪式トルクセンサ 1 0 は、例えば図 3 に示すごとく電動パワーステアリング装置のステアリング軸に操舵トルク検出部として組み込まれる。図 3 において、図 1 と図 2 で説明した要素と実質的に同一の要素には同一の符号を付している。図 3 では、操舵トルク検出部 2 0、ステアリング軸 2 1 (回転軸 1 1 に対応) の支持構造、ラック・ピニオン機構 3 4、動力伝達機構 3 5、操舵力補助用モータ 4 2 の構成が示されている。

【 0 0 2 6 】

図 3 において、ステアリング軸 2 1 の上部は車両のステアリングホイール (図示せず) に結合される。ステアリング軸 2 1 の下部は、ラック・ピニオン機構 3 4 を介して、ラック軸を備えた車軸に操舵力を伝達するように構成される。ステアリング軸 2 1 の上部に付設された操舵トルク検出部 2 0 は、上記の磁歪式トルクセンサ 1 0 を利用して構成されている。操舵トルク検出部 2 0 は磁歪式トルクセンサ 1 0 に対応し、また磁歪膜 1 4 A , 1 4 B が形成されたステアリング軸 2 1 の部分が上記回転軸 1 1 に対応している。

【 0 0 2 7 】

ギヤボックス 3 1 を形成するハウジング 3 1 a 内で、ステアリング軸 2 1 は、2 つの軸受け部 3 2 , 3 3 によって回転自在になるよう支持されている。ハウジング 3 1 a の内部にはラック・ピニオン機構 3 4 と動力伝達機構 3 5 が収納される。

【 0 0 2 8 】

ステアリング軸 2 1 に対して操舵トルク検出部 2 0 (磁歪式トルクセンサ 1 0) が付設されている。ステアリング軸 2 1 には前述した磁歪膜 1 4 A , 1 4 B が形成され、これらの磁歪膜 1 4 A , 1 4 B に対応して励磁コイル 1 2 と検出コイル 1 3 A , 1 3 B が支持枠部 1 5 A , 1 5 B およびヨーク部 3 6 A , 3 6 B に支持され、設けられている。

【 0 0 2 9 】

ハウジング 31a の上部開口はリッド 37 で塞がれている。ステアリング軸 21 の下端部に設けられたピニオン 38 は軸受け部 32, 33 の間に位置している。ラック軸 39 は、ラックガイド 40 で案内され、かつ圧縮されたスプリング 41 で付勢され、ピニオン 38 側へ押し付けられている。動力伝達機構 35 は、操舵力補助用モータ 42 の出力軸に結合された伝動軸 43 に固定されるウォームギヤ 44 と、ステアリング軸 21 に固定されたウォームホイール 45 とによって形成される。上記操舵トルク検出部 20 はリッド 37 の円筒部 37a の内部に取り付けられている。

【0030】

操舵トルク検出部 20 は、ステアリング軸 21 に作用する操舵トルクを検出する。その検出値は、制御装置（図示しない）に入力され、モータ 42 に適切な補助操舵トルクを発生させるための基準信号として使用される。操舵トルク検出部 20 は、ステアリング軸 21 に対してステアリングホイールからの操舵トルクが作用したとき、ステアリング軸 21 に生じる捩れに応じた磁歪膜 14A, 14B の磁気特性の変化を、検出コイル 13A, 13B の各出力端子から誘導電圧 V_A , V_B の変化として電氣的に検出する。

【0031】

ステアリング軸 21 に操舵トルクが作用したときステアリング軸 21 に捩れが生じ、その結果、磁歪膜 14A, 14B に磁歪効果が生じる。操舵トルク検出部 20 では、交流電源 16 から励磁コイル 12 に励磁用電流が常に供給されているので、磁歪膜 14A, 14B での磁歪効果に起因する磁界変化を検出コイル 13A, 13B によって誘導電圧 V_A , V_B の変化として検出する。操舵トルク検出部 20 によれば、誘導電圧 V_A , V_B の変化に基づき、2つの誘導電圧 V_A , V_B の差を検出電圧値として出力する。従って操舵トルク検出部 20 の出力電圧値 ($V_A - V_B$) に基づいてステアリング軸 21 に加えられた操舵トルクの方向と大きさを検出することができる。

【0032】

図 4 は、2つの磁歪膜 14A, 14B のそれぞれの磁歪特性曲線 51A, 51B を示す図である。図 4 において、横軸は、ステアリング軸 21 に加えられた操舵トルクを意味し、正側 (+) が右回転に対応し、負側 (-) が左回転に対応している。また図 4 の縦軸は電圧軸を意味する。

【0033】

磁歪膜 14A, 14B についての上記磁歪特性曲線 51A, 51B は同時に検出コイル 13A, 13B の検出出力特性を表している。すなわち、磁歪特性曲線 51A, 51B を有する磁歪膜 14A, 14B に対して共通の励磁コイル 12 により励磁用交流電流を供給し、この励磁用交流電流に感応して検出コイル 13A, 13B は誘導電圧を出力していることから、検出コイル 13A, 13B の誘導電圧の変化特性は、磁歪膜 14A, 14B の磁歪特性曲線 51A, 51B に対応している。換言すれば、磁歪特性曲線 51A は検出コイル 13A から出力される誘導電圧 V_A の変化特性を示し、他方、磁歪特性曲線 51B は検出コイル 13B から出力される誘導電圧 V_B の変化特性を示している。

【0034】

磁歪特性曲線 51A によれば、検出コイル 13A から出力される誘導電圧 V_A の値は、操舵トルクの値が負領域から正領域に変化しさらに操舵トルクの正の値 T_1 に到るにつれて略線形特性にて増加し、操舵トルクが正の値 T_1 となったときにピーク値となり、操舵トルクが T_1 よりさらに増加すると徐々に減少するという特性を有する。他方、磁歪特性曲線 51B によれば、検出コイル 13B から出力される誘導電圧 V_B の値は、操舵トルクの値が負の値 $-T_1$ に到るまでは徐々に増加し、操舵トルクが負の値 $-T_1$ のときにピーク値をとり、操舵トルクがさらに $-T_1$ よりも増加して負領域から正領域に変化すると略線形特性にて減少するという特性を有する。

【0035】

図 4 に示すように、検出コイル 13A に関連する磁歪特性曲線 51A と検出コイル 13B に関連する磁歪特性曲線 51B は、磁歪膜 14A, 14B のそれぞれで互いに逆方向となる磁気異方性を有することが反映して、両磁歪特性曲線が交わる点を含む縦軸に関して

10

20

30

40

50

略線対称との関係になっている。

【0036】

図4において示された線52は、磁歪特性曲線51A、51Bの共通領域であって略線形特性を有する領域において、検出コイル13Aの出力電圧として得られる磁歪特性曲線51Aの各値から、検出コイル13Bの出力電圧として得られる磁歪特性曲線51Bの対応する各値を差し引いた値に基づいて作成されるグラフを示す。操舵トルクがゼロのときに、各検出コイル13A、13Bから出力される誘導電圧は等しいので、その差の値はゼロとなる。操舵トルク検出部20では、上記の磁歪特性曲線51A、51Bにおける操舵トルクの中立点(ゼロ点)付近の略一定勾配とみなされる領域を使用することで、上記線52を略直線特性を有するものとして形成している。なお線52の特性グラフに関しては、図4の縦軸は差電圧の値を示す軸を意味している。特性グラフである直線52は、原点(0,0)を通る直線であって、縦軸および横軸の正側・負側に存在する。操舵トルク検出部20の検出出力値は前述のごとく検出コイル13A、13Bから出力される誘導電圧の差($V_A - V_B$)として得られることから、上記直線52を利用することに基づいて、ステアリング軸21に加えられた操舵トルクの方法と大きさを検出することができる。

10

【0037】

上記のごとく、操舵トルク検出部20の出力値に基づき、ステアリング軸21(回転軸11)に入力された操舵トルクに関してその回転方向と大きさに対応した検出信号を取り出すことが可能となる。すなわち、操舵トルク検出部20から出力される検出値によって、ステアリング軸21に作用した操舵トルクの回転方向と大きさを知ることができる。

20

【0038】

換言すれば、操舵トルク検出部20の検出値は、操舵トルクに応じて直線52上のいずれかの点として出力される。当該検出値が、横軸で正側に位置するときには操舵トルクは右回転と判断され、横軸で負側に位置するときには操舵トルクは左回転と判断される。また上記検出値の縦軸上での絶対値が操舵トルクの大きさとなる。このようにして、操舵トルク検出部20によって、直線52の特性を利用することにより、検出コイル13A、13Bの出力電圧値を基礎に操舵トルクを検出することが可能となる。

【0039】

次に、図5~図14を参照して、前述した磁歪式トルクセンサ10の製造方法を説明する。図5に示した磁歪式トルクセンサ10の製造方法の主要部は、磁歪式トルクセンサ10の回転軸11すなわちステアリング軸21の製造工程である。図5は主に回転軸11の製造工程の全体を示している。

30

【0040】

図5において、回転軸11の製造プロセスは、大きく分けると、通常の工程である磁歪膜形成工程P1、磁気異方性付加工程P2、特性安定化工程P3、検査工程P4と、特徴的である残留オーステナイト含有量測定工程P10とから構成されている。残留オーステナイト含有量測定工程P10は磁歪膜形成工程P1の前段に設けられている。また、後述のごとく、残留オーステナイト含有量測定工程P10を設けた関係で、磁気異方性付加工程P2における回転軸11を加熱処理するための熱処理ステップでは、回転軸11のランクに応じて加熱処理時間を変更するようにしている。

40

【0041】

なお特性安定化工程P3は、通常、アニール工程P31を含む。また磁歪式トルクセンサ10として完成するためには、検査工程P4の後に、回転軸11に対して励磁コイル12や検出コイル13A、13B等の検出器を付設する検出器付設工程P5が設けられている。

【0042】

磁歪膜形成工程P1は、納品された回転軸11(ステアリング軸21)に対して磁歪膜を形成する工程である。この磁歪膜形成工程P1の前工程として、本実施形態では、上記のごとく残留オーステナイト含有量測定工程P10を設けている。実際には、残留オーステナイト含有量測定工程P10の前に、さらに、納品された回転軸11の受入検査が行わ

50

れる(ステップS10)。

【0043】

先ず最初に、磁歪膜形成工程P1、磁気異方性付加工程P2、特性安定化工程P3、検査工程P4を説明する。

【0044】

磁歪膜形成工程P1では、電解めっき処理により回転軸11の表面の所定箇所に磁歪材めっき部が磁歪膜の基礎となる部分として形成される。磁歪膜形成工程P1では、まず、回転軸11の洗浄等の前処理が行われる(ステップS11)。その後に電解めっきが行われる(ステップS12)。この電解めっき工程では、回転軸11の上下の箇所で磁歪材が所定の膜厚になるように施される。上下の磁歪材めっき部は、後述する後処理によって磁気異方性を有する磁歪膜14A, 14Bになる部分である。その後、乾燥が行われる(ステップS13)。

10

【0045】

上記の磁歪膜形成工程P1では、回転軸11の表面に前述した磁歪膜14A, 14Bを形成するために電解めっき処理法を用いた。しかしながら、回転軸11における磁歪膜14A, 14Bを形成する基礎部分は、電解めっき法以外の方法、例えばスパッタリング法、イオンプレーティング法等のPVD法、プラズマ溶射法などの方法によって形成することもできる。

【0046】

次に、磁気異方性付加工程P2が実行される。この磁気異方性付加工程P2は、回転軸11に形成された上下2箇所の磁歪材めっき部に対して磁気異方性を付加し前述の磁歪膜14A, 14Bを形成する工程である。磁気異方性付加工程P2は、上側の磁歪材めっき部に対して高周波加熱を行うステップS21と、下側の磁歪材めっき部に対して高周波加熱を行うステップS22とを有している。

20

【0047】

図6は、磁気異方性付加工程P2の各ステップS21, S22で実施される処理工程のフローチャートを示す。

【0048】

磁気異方性付加工程P2における上側磁歪材めっき部を高周波加熱するステップS21について説明する。ステップS21では、最初に、トルク印加装置により回転軸11に所定の捩りトルクを印加するステップS201が実行される。次に、所定の捩りトルクを印加した状態の回転軸11で上側磁歪材めっき部に対して所定時間だけ高周波を供給し電磁誘導により加熱処理を行う熱処理ステップS202が実行される。次に加熱した回転軸11を自然に冷却するステップS203が実行され、最後に捩りトルクを解放することによって上側磁歪材めっき部に磁気異方性を付加して上記磁歪膜14Aを形成するトルク解放ステップS204が実行される。

30

【0049】

上記の熱処理ステップS202では、回転軸11の上側磁歪材めっき部に対して誘導加熱コイルを配置し、この誘導加熱コイルに高周波電源から所定の高周波電流を供給して上側磁歪材めっき部のみを加熱する。

40

【0050】

上記のステップS201~S204により、回転軸11の上側磁歪材めっき部は磁気異方性が付加され、これにより磁気異方性を有する磁歪膜14Aが形成される。

【0051】

回転軸11の下側磁歪材めっき部に対する高周波加熱ステップS22について、同様に上記のステップS201~S204が実行され、下側磁歪材めっき部に対して磁気異方性が付加され、これにより磁気異方性を有する磁歪膜14Bが形成される。この場合、下側磁歪材めっき部に磁気異方性を付加するときに、磁歪膜14Bの磁気異方性とは逆向きになるように、回転軸11に与えるトルクの印加方向を逆向きにする。

【0052】

50

上記の磁気異方性付加工程 P 2 では、加熱処理を行う熱処理ステップ S 2 0 2 での加熱処理条件（加熱処理時間等）を、後述のごとく、回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量に応じて回転軸 1 1 ごとにランクに応じて異ならせるように制御している。

【 0 0 5 3 】

上記の磁気異方性付加工程 P 2 の後に特性安定化工程 P 3 が行われる。特性安定化工程 P 3 では、アニール工程 P 3 1 が行われ、例えば操舵トルク検出部 2 0 が使用される状況での使用温度以上の温度で、所定時間加熱処理を行う。

【 0 0 5 4 】

特性安定化工程 P 3 の後には検査工程 P 4 が行われる。その後、励磁コイル等の検出器を配置する検出器付設工程 P 5 を設け、回転軸 1 1 の磁歪膜 1 4 A , 1 4 B の周囲に磁歪特性の変化を検出する検出手段を配置する。以上の工程により磁歪式トルクセンサ 1 0 が完成する。

10

【 0 0 5 5 】

次に、前述の残留オーステナイト含有量測定工程 P 1 0 を設けた意義と測定方法について詳細に説明する。

【 0 0 5 6 】

先ず、残留オーステナイト含有量測定工程 P 1 0 を設けた意義を説明する。

磁歪式トルクセンサの回転軸 1 1（ステアリング軸 2 1）には、クロムモリブデン鋼（S C M材）、ニッケルクロムモリブデン鋼（S N C材）等の構造用鋼材が用いられている。前述した通り、回転軸 1 1 は、回転軸作製時の残留オーステナイト含有量により回転軸そのものの磁気特性が異なる。通常、鋼材表面に浸炭処理を行う際の焼き入れ温度、焼き戻し温度、C p（カーボンポテンシャル）値、組成等に依存して、5～15%程度の残留オーステナイトを含む回転軸 1 1 が納入される。納入される回転軸 1 1 は、メーカーやロットによっても残留オーステナイト含有量が異なる。このような回転軸 1 1 に対して、磁気異方性付加工程 P 2 で熱処理ステップ S 2 0 2 を実行する時に加熱処理条件を同じにすると、最終的に作製された磁歪式トルクセンサのセンサ特性（中点特性、感度特性）に大きなバラツキが生じる。

20

【 0 0 5 7 】

そこで本実施形態に係る製造方法によれば、納入されたすべての回転軸 1 1 について、残留オーステナイト含有量測定工程 P 1 0 によって回転軸 1 1 ごとに残留オーステナイト含有量を非接触方式で測定する。納入されたすべての回転軸 1 1 は、測定で得られた残留オーステナイト含有量に応じてランク付け（またはクラス分け）が行われる。そして、前述の磁気異方性付加工程 P 2 における熱処理ステップ S 2 0 2 では、残留オーステナイト含有量に基づいてランク付けされた回転軸 1 1 について、各ランクごとに加熱処理条件（以下「加熱処理時間」とする）を異ならせ、加熱処理時間等を制御する。

30

【 0 0 5 8 】

磁気異方性付加工程 P 2 における熱処理ステップ S 2 0 2 において、回転軸 1 1 ごとにランクに応じて加熱処理時間を制御することによって、加熱処理状態のバラツキを低減し、センサ感度特性のバラツキを低減する。これにより、磁歪式トルクセンサ 1 0 の製造プロセスにおける生産性の向上および品質の向上を図ることができる。なお、回転軸 1 1 の納入時に残留オーステナイト含有量を数%のオーダで一定量に指定することは非常に困難であり、これを実行すると、コスト高になる。製造コストの低減を図るためには残留オーステナイト含有量について或る程度の幅を持ったものを用いることが望ましい。

40

【 0 0 5 9 】

次に、残留オーステナイト含有量測定工程 P 1 0 の測定方法を説明する。

残留オーステナイト含有量測定工程 P 1 0 では、回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量を測定するために、回転軸 1 1 に対してコイル（以下「検出コイル」と記す）を利用した非破壊検査が実施される。すなわち、本実施形態では、検出コイルの中に回転軸 1 1 を挿通させて回転軸 1 1 の周囲に当該検出コイルを設置し、この検出コイルに交流電流を給電して励磁し、当該検出コイルによりそのコイル端子間インピーダンスを測定することに

50

より間接的に回転軸 1 1 のシャフトインピーダンスを測定する。そして、回転軸 1 1 のシャフトインピーダンス測定値に基づいて回転軸 1 1 の材料の磁気状態を判定し、それに基づいて残留オーステナイト含有量を算出する。ここで、回転軸 1 1 の「シャフトインピーダンス」とは、上記検出コイルのコイルインピーダンスとして測定され、間接的に求められる回転軸 1 1 の磁気特性を表す特性値を意味する。

【 0 0 6 0 】

回転軸 1 1 の上記シャフトインピーダンスの測定工程は、高周波による誘導加熱によって回転軸 1 1 の磁歪膜に磁気異方性を付加する前で行われるのが、好ましい。さらに回転軸 1 1 に磁歪膜 1 4 A , 1 4 B の基礎材である磁歪材めっき部を形成する前であれば、より好ましい。

10

【 0 0 6 1 】

図 7 は、回転軸 1 1 における残留オーステナイト含有量と磁気特性との関係を示すグラフである。図 7 において、横軸は磁場 (H) であり、縦軸は磁束密度 (B) である。回転軸 1 1 は、その残留オーステナイト含有量が少ないときは、図 7 の (a) に示されるように磁場方向の幅が狭いヒステリシス曲線特性 6 1 を有する。また残留オーステナイト含有量が多いときは、図 7 の (b) で示されるように、回転軸 1 1 は磁場方向の幅が広いヒステリシス曲線特性 6 2 を有する。透磁率 μ は B / H で与えられるので、ヒステリシス曲線特性 6 1 , 6 2 を比較すれば、任意の磁界 H で回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量が少ないほど、回転軸 1 1 の透磁率 μ は大きくなるという特性を有することが分かる。つまり、ヒステリシス曲線特性 6 1 での透磁率 $\mu (a)$ は $B (a) / H (a)$ で与えられ、ヒステリシス曲線特性 6 2 での透磁率 $\mu (b)$ は $B (b) / H (b)$ で与えられるので、 $\mu (a) > \mu (b)$ となる。従って、回転軸 1 1 に関して透磁率 μ に依存する電流量を測定することによって当該回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量の多少を判定することが可能となる。

20

【 0 0 6 2 】

そこで、本実施形態による回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量の測定方法では、前述のごとく回転軸 1 1 の周りに検出コイルを設置し、この検出コイルで回転軸 1 1 のシャフトインピーダンス (Z) を測定し、シャフトインピーダンス (Z) の大きさ (| Z |) によって回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量の多少を判定する。すなわち、シャフトインピーダンス (Z) は下記の式 (1) で表され、この式 (1) が透磁率 μ に依存し、また透磁率 μ が残留オーステナイト含有量に依存して変化することから、シャフトインピーダンス (Z) と残留オーステナイト含有量との関係が求められる。

30

【 0 0 6 3 】

$$| Z | = \sqrt{ (\omega L) ^ 2 + R ^ 2 } \quad \dots (1)$$

【 0 0 6 4 】

上記の式 (1) で、「 ω 」は上記検出コイルに供給される交流電流の角周波数、「L」はインダクタンス、「R」は抵抗である。また、インダクタンス L は透磁率 μ と下記の式 (2) によって関係づけられる。

【 0 0 6 5 】

$$L = \mu (K \cdot n ^ 2 \cdot S) / l \quad \dots (2)$$

40

【 0 0 6 6 】

上記の式 (2) において、「K」は長岡係数、「n」は励磁コイルの巻数、「S」は励磁コイルの断面積、「l」は検出コイルの軸方向の長さを表す。

【 0 0 6 7 】

本実施形態では、予め X 線回折法などにより回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量とシャフトインピーダンス (Z) の相関関係を算出しておく。それにより、例えば、残留オーステナイト含有量ごとに対応したシャフトインピーダンス値がランク付けされた表を予め作成しておく。

【 0 0 6 8 】

下記の表 1 は、回転軸 1 1 ごとのシャフトインピーダンス (Z) に対する X 線回折によ

50

って得られた残留オーステナイト含有量と回転軸 1 1 のランク付けとを示す表を示す。

【 0 0 6 9 】

【 表 1 】

No.	C1	C2	C3	積分強度			残留 オーステナイト	ランク
	Z 100KHz	Z 30KHz	γ	α	比率			
S1	816.95	366.39	622	13209	4.71%	4.82%	6	
S2	809.82	364.26	636	13799	4.61%	4.72%	6	
S3	806.76	362.78	830	15044	5.52%	5.65%	5	
S4	801.21	358.95	806	14033	5.74%	5.88%	4	
S5	791.93	357.51	1042	13290	7.84%	8.03%	3	
S6	786.29	348.36	1184	12479	9.49%	9.71%	0	

【 0 0 7 0 】

上記の表 1 で、欄 C 1 は回転軸 1 1 の試料番号 (S 1 ~ S 6) を示し、欄 C 2 は 1 0 0 K H z の交流電流の給電によって測定した回転軸 1 1 のシャフトインピーダンス値 (Z) を示し、欄 C 3 は 3 0 K H z の交流電流を給電によって測定した回転軸 1 1 のシャフトインピーダンス値 (Z) を示す。表 1 では一例として 6 つの回転軸 1 1 (試料 S 1 ~ S 6) の測定例が示されている。また、欄 C 4 の「積分強度」は回転軸 1 1 の X 線回折での残留オーステナイトによる回折線の積分強度を示し、欄 C 5 の「積分強度」は回転軸 1 1 の X 線回折でのマルテンサイトによる回折線の積分強度を示す。また欄 C 6 の「比率」は、「積分強度」の数値を「 I 」と表現しかつ「積分強度」の数値を「 I 」と表現した時に、下記の式 (3) に基づいて求めたものである。式 (3) においてオーステナイトの体積比を「 c 」、マルテンサイトの体積比を「 c 」、物質の種類に依存する定数を「 R 」、「 R 」としている。なお「 R 」は回折ビームの角度 と結晶面のミラー指数 h k l に依存している。

【 0 0 7 1 】

$$I / I = (R / R) (c / c) \dots (3)$$

【 0 0 7 2 】

すなわち、欄 C 6 の「比率」は、上記の式 (3) に基づいて求めた比率 (c / c) である。さらに欄 C 7 の「残留オーステナイト」は c + c = 1 の関係式を用いて求めた c の値である。

【 0 0 7 3 】

回転軸 1 1 の全試料 (S 1 ~ S 6) について検出コイルを用いて交流励磁し、各回転軸 1 1 のインピーダンス値を測定し、これに基づいて各回転軸 1 1 の残留オーステナイト残留量を算出し、シャフトインピーダンス値 (または残留オーステナイト含有量) に基づき、後述のランク分け表に従って回転軸 1 1 をランク付けする。すなわち、上記表 1 の欄 C 8 において、試料 S 1 ~ S 6 に係る回転軸 1 1 のそれぞれについて 0 ~ 6 の 7 段階のランクのいずれかが示されている。

【 0 0 7 4 】

ここでランク分け表について説明する。下記の表 2 にランク分け表の一例を示す。この表 2 では、欄 C 1 1 の「ランク」に 0 ~ 6 の 7 段階のランクが示され、欄 C 1 2 ではランクに対応するシャフトインピーダンス値の範囲 (上限値と下限値) が示されている。欄 C 1 2 a はシャフトインピーダンス値の下限値を示し、欄 C 1 2 b はシャフトインピーダンス値の上限値を示している。なお欄 C 1 2 で示されたシャフトインピーダンス値は、 3 0 K H z の交流電流によるシャフトインピーダンス値に基づいている。なおランク分けについては、 3 0 K H z でのシャフトインピーダンスを用いる代わりに、 1 0 0 K H z のシャフトインピーダンスによるランク分けをしてもよい。

【 0 0 7 5 】

【 表 2 】

C11 ランク	C12	
	C12a 以上	C12b 以下
0		349.00
1	349.00	352.00
2	352.00	355.00
3	355.00	358.00
4	358.00	361.00
5	361.00	364.00
6	364.00	

10

【 0 0 7 6 】

上記の表 2 に基づいて、表 1 の欄 C 8 に示すごとく、試料 S 1 ~ S 6 の各回転軸 1 1 について 0 ~ 6 のランクでランク付けがなされる。

【 0 0 7 7 】

20

図 8 は、表 1 の欄 C 8 で示されたランクをグラフ化して示したものである。図 8 において、横軸は表 1 の欄 C 3 に示した回転軸 1 1 のシャフトインピーダンス (Z) を示し、縦軸は表 1 の欄 C 7 に示した残留オーステナイト (c) を示している。図 8 のグラフでの 6 つのプロットは、表 1 の欄 C 1 に記載された試料 S 1 ~ S 6 に関するものである。また破線で示した直線 7 1 は、各プロット S 1 ~ S 6 の各データから最小二乗法により求めた直線である。

【 0 0 7 8 】

図 8 に示すごとく、試料 S 1 ~ S 6 に係る回転軸 1 1 に関してその残留オーステナイト含有量に応じて各回転軸 1 1 のランクが異なる場合に、仮に、後段に実施される磁界異方性付加工工程 P 2 の熱処理ステップ S 2 0 2 での加熱処理時間をランクに関係なく一定にすると、最終的に完成する磁歪式トルクセンサにおいて検出感度の midpoint および検出感度それ自体が変化し、センサ感度特性にバラツキが生じる。

30

【 0 0 7 9 】

ここで、図 9 ~ 図 1 1 を参照して、回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量が異なるときに、すなわち回転軸 1 1 のランクが異なるときに、熱処理ステップ 2 0 2 での加熱処理時間を同じにすると、何故、磁歪式トルクセンサのセンサ感度特性にバラツキが生じるのかということの説明する。

【 0 0 8 0 】

図 9 は、回転軸 1 1 のシャフトインピーダンスと、回転軸 1 1 の磁歪材めっき部 (磁歪膜 1 4 A , 1 4 B) を加熱するときのグリッド電流 I g との関係を示すグラフである。ここで「グリッド電流 I g 」は、上記熱処理ステップ S 2 0 2 で誘導加熱コイルに高周波電流 (I p) を給電したときに回転軸 1 1 と磁歪材めっき部に発生する渦電流に反比例する電流を意味している。図 9 で、横軸は回転軸 1 1 のシャフトインピーダンス (Z :) を示し、縦軸はグリッド電流 (I g : mA) を示す。図 9 では、6 つの回転軸試料に関する測定データ D 1 ~ D 6 がプロットされている。6 つの測定データ D 1 ~ D 6 は、直線 7 2 に沿ってプロットされた状態になり、1 次相関の関係がある。従って、図 9 の直線 7 2 で示されるように、回転軸 1 1 のシャフトインピーダンス値が増加するに従って、グリッド電流 I g が減少するという特性があることが分かる。

40

【 0 0 8 1 】

図 1 0 は、グリッド電流 I g と、回転軸 1 1 の磁歪材めっき部を加熱するときの加熱温

50

度との関係を示すグラフである。図 10 で、横軸はグリッド電流 (I_g : mA) を示し、縦軸は回転軸 11 の加熱温度 () を示す。

【 0082 】

なお図 10 では、グリッド電流 I_g の範囲を 6 つに分け、グリッド電流 I_g の数値範囲と前述したランク 1 ~ 6 との関係付けが示されている。ランク 1 はグリッド電流の約 145.7 ~ 147.6 mA の範囲に対応し、ランク 2 はグリッド電流の 143.8 ~ 145.7 mA の範囲に対応し、ランク 3 はグリッド電流の約 142 ~ 143.8 mA の範囲に対応し、ランク 4 はグリッド電流の約 140.2 ~ 142 mA の範囲に対応し、ランク 5 はグリッド電流の約 138.3 ~ 140.2 mA の範囲に対応し、ランク 6 はグリッド電流の約 136 ~ 138.3 mA の範囲に対応している。

10

【 0083 】

図 10 のグラフによれば、20 以上の多数の測定データがプロットされている。これらの多数の測定データのプロットに基づいて直線 73 を想定することができ、1 次相関の関係がある。図 10 に示された直線 73 によれば、グリッド電流 I_g が増大すると加熱温度が減少するという反比例の関係にあることが分かる。またランク 1 ~ 6 との関係で云えば、ランク 6 からランク 1 に移行するに従って、加熱温度が減少するという関係にある。

【 0084 】

図 9 に示した回転軸 11 のシャフトインピーダンスとグリッド電流の関係、図 10 に示したグリッド電流と加熱温度の関係を考慮すると、回転軸 11 のシャフトインピーダンスと回転軸 11 の磁歪材めっき部を加熱するときの加熱温度との関係では、シャフトインピーダンスの違いに応じて加熱温度が異なることが分かる。つまり、上記の熱処理ステップ S202 で磁歪材めっき部に高周波加熱を行って回転軸 11 の磁歪膜 (14A, 14B) に磁気異方性を付加する工程 P2 において、同じ加熱処理時間で加熱を行っても、回転軸 11 の残留オーステナイト含有量の違いに依存して加熱温度に差が生じることになり、前述したセンサ感度特性にバラツキの原因になる。

20

【 0085 】

回転軸 11 の残留オーステナイト含有量の違いに依存して加熱温度に差が生じる理由を、図 11 を参照して、さらに詳しく説明する。

【 0086 】

図 11 は、残留オーステナイト含有量が異なる回転軸 11 を高周波加熱するときの回転軸 11 に浸入する磁束の分布状態を示す図である。図 11 の (a) は残留オーステナイト含有量が少ない回転軸 11 (ランク 6 に対応) の例を示し、図 11 の (b) は残留オーステナイト含有量が多い回転軸 11 (ランク 1 に対応) の例を示す。

30

【 0087 】

図 11 の (a) と (b) において、符号 81 は上記回転軸 11 の一部を示し、符号 82 は磁歪膜 (14A, 14B) となる磁歪材めっき部を示す。符号 83 は誘導加熱コイルを示す。また点線 84 は磁束の分布状態を示す。図 11 (a) で示されるように、残留オーステナイト含有量が少ない場合に、回転軸 81 の透磁率 μ は大きな値であり、回転軸 81 と磁歪材めっき部 82 の透磁率は総合的に大きな値になる。これにより、磁束 84 は回転軸 11 の内部には侵入せず、磁歪材めっき部 82 と回転軸 81 の表面領域に磁束 84 が集中し、その領域での磁束密度が増加する。そのため、磁歪材めっき部 82 での渦電流が増すので、高周波電流 I_p が上がってグリッド電流 I_g が低下し、磁歪材めっき部での加熱温度が上昇する。一方、図 11 (b) で示されるように、残留オーステナイト含有量が多い場合に、回転軸 81 の透磁率 μ は小さな値であり、回転軸 81 と磁歪材めっき部 82 の透磁率は総合的に小さな値になる。これにより、磁束 84 は回転軸 11 の内部にまで侵入し、磁歪材めっき部 82 と回転軸 81 の表面領域では磁束 84 が相対的に分散し、その領域での磁束密度が減少する。そのため、磁歪材めっき部 82 での渦電流が減るので、高周波電流 I_p が下がってグリッド電流 I_g が上昇し、磁歪材めっき部 82 での加熱温度が低下する。

40

【 0088 】

50

以上のごとく、回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量の違いに依存して磁歪材めっき部等での加熱温度に差が生じることになり、前述したセンサ感度特性にバラツキの原因になる。

【 0 0 8 9 】

本実施形態に係る磁歪式トルクセンサの製造方法によれば、残留オーステナイト含有量が異なる回転軸 1 1 を、残留オーステナイト含有量測定工程 P 1 0 でそのシャフトインピーダンスを測定することによりランク付けし（ランク 0 ~ 6）、磁気異方性付加工程 P 2 の熱処理ステップ S 2 0 2 でランクに応じて加熱処理時間を設定して加熱処理を行い、これにより、回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量が異なっても、各回転軸 1 1 での磁歪材めっき部の加熱温度を実質的に等しくし、結果的に、完成した磁歪式トルクセンサ 1 0 でのセンサ感度特性のバラツキをなくすようにしている。

10

【 0 0 9 0 】

磁気異方性付加工程 P 2 における上めっき高周波加熱ステップ S 2 1 と下めっき高周波加熱ステップ S 2 2 での熱処理ステップ S 2 0 2 において、処理対象となる回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量が多く（シャフトインピーダンスが高い、またはランク 0 の側）、磁歪材めっき部での磁束密度が低く、温度上昇しにくい場合には加熱処理時間を長くする。また回転軸 1 1 の残留オーステナイト含有量が少なく（シャフトインピーダンスが低い、またはランク 6 の側）、磁歪材めっき部での磁束密度が高く、温度上昇しやすい場合には加熱処理時間を短くする。加熱処理時間の制御は、実際には、グリッド電流を時間で積分した値が一定となるように行われる。

20

【 0 0 9 1 】

以上のごとく、納入される回転軸 1 1 のそれぞれの残留オーステナイト含有量の違いにより分類したランク 0 ~ 6 に依存して、磁気異方性付加工程 P 2 での熱処理ステップ S 2 0 2 における加熱処理時間が設定される。実際には、それぞれのグリッド電流 I_g を利用して加熱処理時間は設定される。

【 0 0 9 2 】

図 1 2 は、6 つの試料に係る回転軸についてグリッド電流 (I_g) と加熱処理時間との関係を示すグラフである。図 1 2 において、横軸はグリッド電流 I_g (mA) を表し、縦軸は加熱処理時間 (秒) を示す。6 つの試料でのグリッド電流 I_g が小さくなるほど、加熱処理時間を長くしていることが分かる。

30

【 0 0 9 3 】

次に、本実施形態に係る磁歪式トルクセンサの製造方法によって製造した磁歪式トルクセンサ 1 0 の特性に関する試験結果を、図 1 3 と図 1 4 に示す。

【 0 0 9 4 】

図 1 3 は、シャフトインピーダンス（残留オーステナイト含有量）の異なる回転軸に形成した磁歪式トルクセンサの「感度」を示す。感度は、例えば磁歪式トルクセンサ 1 0 における入力トルク・インピーダンス特性（図 4 で示された特性 5 1 A, 5 1 B に相当）での入力トルク $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ 当りのシャフトインピーダンス変化量を表す。

【 0 0 9 5 】

図 1 3 において、横軸は回転軸のシャフトインピーダンス、縦軸は各回転軸に形成した磁歪式トルクセンサの感度を示す。プロット P L 1 0, P L 1 1, P L 1 2 は、本実施形態に係る製造方法で製造された磁歪式トルクセンサ 1 0 の感度、プロット P L 2 0, P L 2 1, P L 2 2 は、従来の製造方法で製造された磁歪式トルクセンサの感度を示す。

40

【 0 0 9 6 】

従来の製造方法ではシャフトインピーダンスの異なる回転軸に作製された磁歪式トルクセンサの感度はそのシャフトインピーダンスの違いに伴って変化しているのに対して、本実施形態の製造方法で製造した磁歪式トルクセンサ 1 0 の感度は、回転軸 1 1 のシャフトインピーダンスに依存せずほぼ一定であることが分かる。

【 0 0 9 7 】

図 1 4 は、シャフトインピーダンス（残留オーステナイト含有量）の異なる回転軸に形

50

成した磁歪式トルクセンサの「0点Z」を示す。「0点Z」は、Z基準線における入力トルク0のときのシャフトインピーダンス値である。図14で、横軸は回転軸のシャフトインピーダンス、縦軸は各回転軸に形成した磁歪式トルクセンサの0点Zを示す。プロットPL30, PL31, PL32は、本実施形態の製造方法で製造された磁歪膜トルクセンサ10の0点Z、プロットPL40, PL41, PL42は、従来の製造方法で製造された磁歪式トルクセンサの0点Zを示す。従来の方法では、シャフトインピーダンスの異なる回転軸に作製された磁歪式トルクセンサの0点Zはそのシャフトインピーダンスの違いに伴って変化しているのに対して、本実施形態の製造方法で製造した磁歪式トルクセンサの0点Zは、回転軸のシャフトインピーダンスによらず、ほぼ一定であることが分かる。

【0098】

10

以上のように、本発明によれば、納入時の回転軸11は従来のものを使用し、また加熱に用いる装置を特別に変更することなく、加熱処理時間の制御を容易に行うだけで、磁歪式トルクセンサのセンサ出力特性のバラツキを低減することができる。

【産業上の利用可能性】

【0099】

本発明は、電動パワーステアリング装置などで操舵トルク検出部として使用される磁歪式トルクセンサを製造する方法であって、センサ感度特性のバラツキが少ない製造方法として利用される。

【図面の簡単な説明】

【0100】

20

【図1】本発明に係る磁歪式トルクセンサの製造方法で製造される磁歪式トルクセンサの基本的構造を示す一部断面側面図である。

【図2】磁歪式トルクセンサの基本的構成を概念的に示す側面図である。

【図3】磁歪式トルクセンサを操舵トルク検出部として電動パワーステアリング装置のステアリング軸に組み込んだ具体的構造の要部縦断面図である。

【図4】磁歪式トルクセンサにおける各検出コイルに関する磁歪特性曲線とセンサ検出特性を示すグラフである。

【図5】本発明に係る磁歪式トルクセンサの製造方法であり、主に回転軸の製造プロセスを示す工程図である。

【図6】磁気異方性付加工程のフローチャートである。

30

【図7】回転軸の残留オーステナイト含有量の少ないものと多いものに依存した磁気特性を示すグラフである。

【図8】回転軸のシャフトインピーダンス(Z)と残留オーステナイト含有量(%)の関係を示すグラフである。

【図9】回転軸のシャフトインピーダンス(Z)と磁歪材めっき部を加熱するときのグリッド電流(Ig)との関係を示すグラフである。

【図10】グリッド電流(Ig)と磁歪材めっき部を加熱するときの加熱温度との関係を示すグラフである。

【図11】残留オーステナイト含有量が異なる回転軸に磁歪材めっき部(磁歪膜)を形成したものを高周波加熱するときの磁束分布を示す断面図である。

40

【図12】グリッド電流(Ig)と加熱処理温度との関係を示すグラフである。

【図13】シャフトインピーダンスの異なる種々の回転軸に形成した磁歪式トルクセンサの感度(Z傾き)を示すグラフである。

【図14】シャフトインピーダンスの異なる種々の回転軸に形成した磁歪式トルクセンサの0点Zを示すグラフである。

【符号の説明】

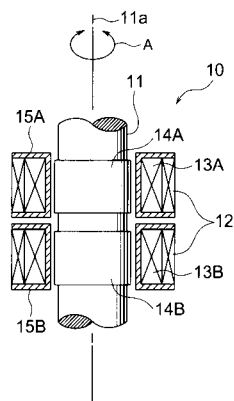
【0101】

- 10 磁歪式トルクセンサ
- 11 回転軸
- 12 励磁コイル

50

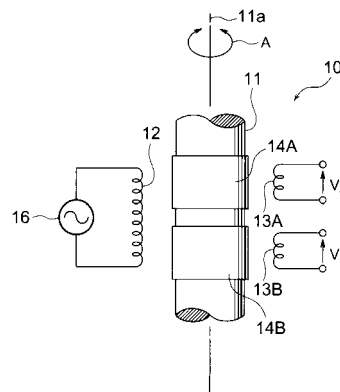
- 1 3 A , 1 3 B 検出コイル
- 1 4 A , 1 4 B 磁歪膜
- 2 0 操舵トルク検出部
- 2 1 ステアリング軸
- 3 1 ギヤボックス
- 3 4 ラック・ピニオン機構
- 3 5 動力伝達機構
- 4 2 モータ
- 5 1 A , 5 1 B 磁歪特性曲線（インピーダンス特性曲線）
- P 1 磁性膜形成工程
- P 2 磁気異方性付加工程
- P 3 特性安定化工程
- P 1 0 残留オーステナイト含有量測定工程

【 図 1 】

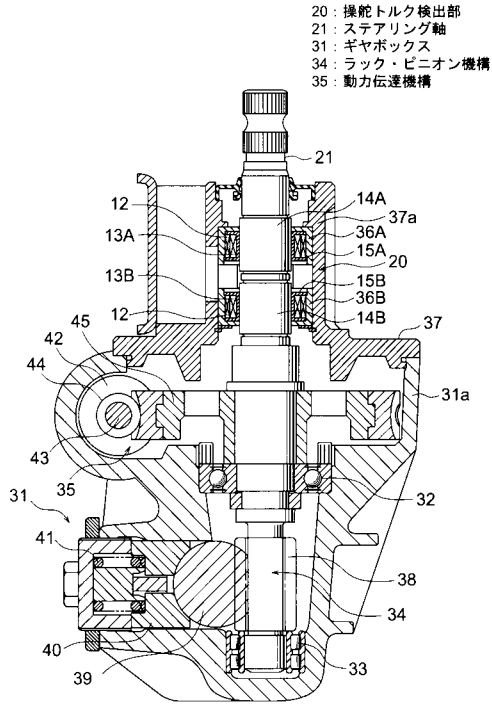


10 : 磁歪式トルクセンサ
11 : 回転軸
12 : 励磁コイル
13A, 13B : 検出コイル
14A, 14B : 磁歪膜

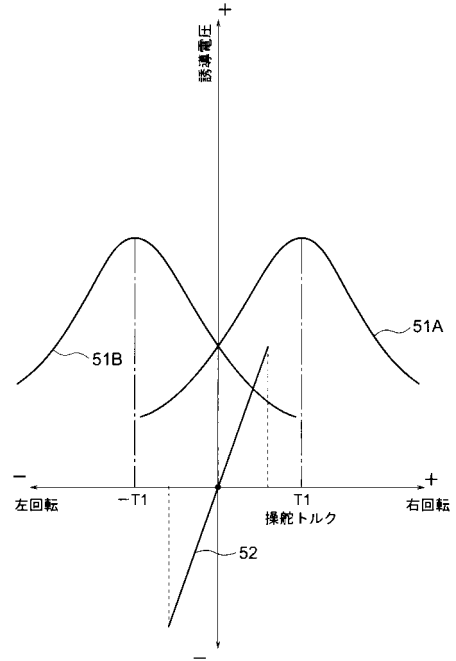
【 図 2 】



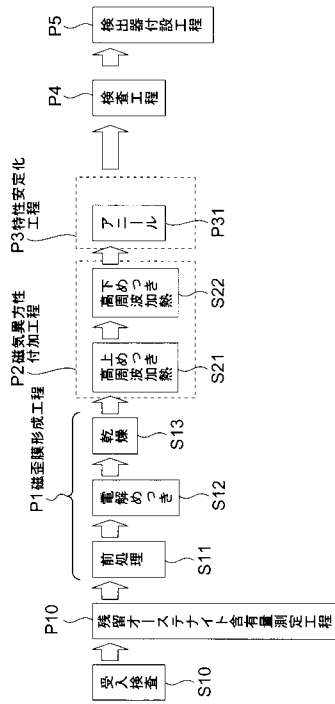
【 図 3 】



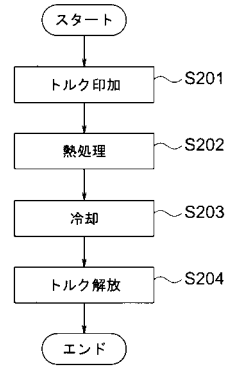
【 図 4 】



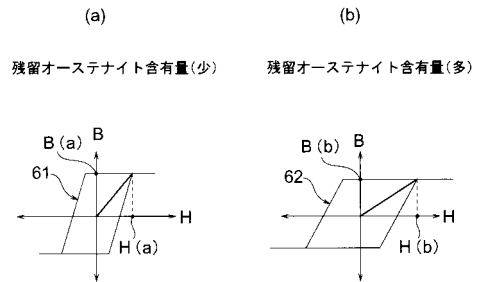
【 図 5 】



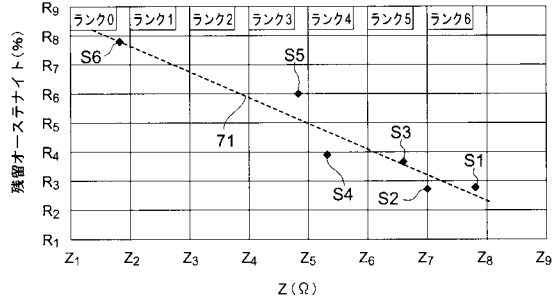
【 図 6 】



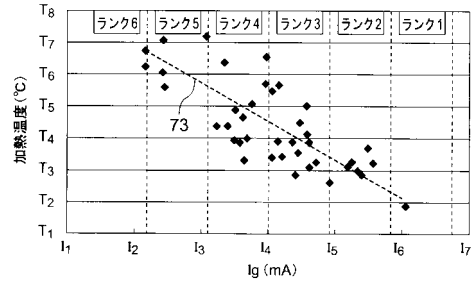
【 図 7 】



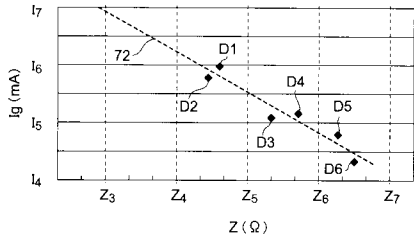
【 図 8 】



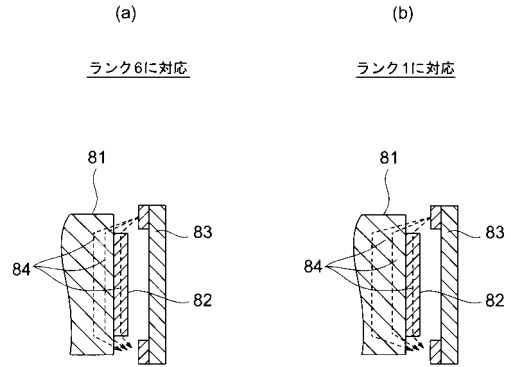
【 図 10 】



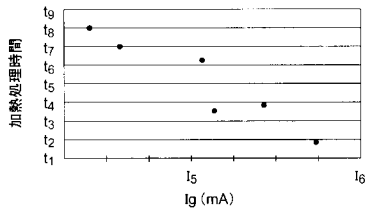
【 図 9 】



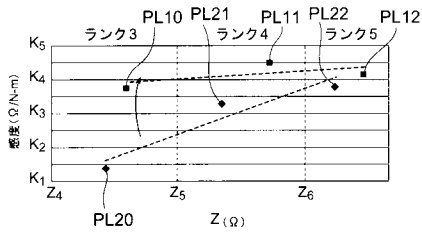
【 図 11 】



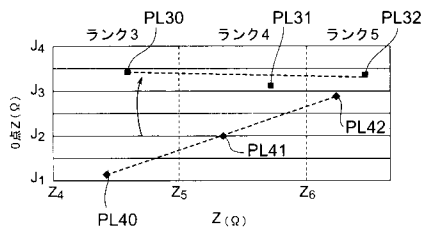
【 図 12 】



【 図 13 】



【 図 14 】



フロントページの続き

(72)発明者 星 智弘

栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台6番地1 ホンダエンジニアリング株式会社内

(72)発明者 樫村 之哉

栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台6番地1 ホンダエンジニアリング株式会社内

審査官 松浦 久夫

(56)参考文献 特開2004-340744(JP,A)

特開2005-008971(JP,A)

特開平02-098639(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 3/10