

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5144815号
(P5144815)

(45) 発行日 平成25年2月13日 (2013. 2. 13)

(24) 登録日 平成24年11月30日 (2012. 11. 30)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 L 3/10 (2006. 01)	GO 1 L 3/10 3 O 1 D
GO 1 L 1/12 (2006. 01)	GO 1 L 1/12

請求項の数 8 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2011-528273 (P2011-528273)
(86) (22) 出願日	平成21年8月19日 (2009. 8. 19)
(65) 公表番号	特表2012-503762 (P2012-503762A)
(43) 公表日	平成24年2月9日 (2012. 2. 9)
(86) 国際出願番号	PCT/EP2009/060721
(87) 国際公開番号	W02010/034573
(87) 国際公開日	平成22年4月1日 (2010. 4. 1)
審査請求日	平成24年6月6日 (2012. 6. 6)
(31) 優先権主張番号	08165077. 2
(32) 優先日	平成20年9月25日 (2008. 9. 25)
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者	504127740
	アーベー・アーベー
	スウェーデン国、エスイー 7 2 1 8 3
	ベステラス (番地なし)
(74) 代理人	100108855
	弁理士 蔵田 昌俊
(74) 代理人	100091351
	弁理士 河野 哲
(74) 代理人	100088683
	弁理士 中村 誠
(74) 代理人	100109830
	弁理士 福原 淑弘
(74) 代理人	100075672
	弁理士 峰 隆司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気弾性材料のレイヤを含む、応力を測定するためのセンサー、及びそのレイヤを製造するための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷重支持部材 (1) に加えられる力により引き起こされる応力を測定するためのセンサーあって、

前記センサーは、荷重支持部材の上に形成された磁気弾性材料のレイヤ (3) を含んでいて、前記センサーは、前記レイヤの中の経時変化する磁場を作り出し、前記レイヤの中の透磁率の変化を検出し、前記レイヤの中の透磁率の検出された変化に基づいて応力を決定するように構成されている、センサーにおいて、

前記レイヤは、不均一であり、且つ、100nmより小さい平均粒径及び第一の化学的組成を備えた第一の相、及び明確に異なる化学的組成の第二の相 (17) を有していて、

第一の相は、第二の相により、100～10,000nmの範囲内の平均サイズを有する領域 (18) に分割され、それらの領域の内の複数は、1wt%よりも低い酸素レベルを有していること、

を特徴とするセンサー。

【請求項 2】

下記特徴を有する請求項 1 に記載のセンサー、

第二の相は、5%を超える酸素レベルを有している。

【請求項 3】

下記特徴を有する請求項 1 または 2 に記載のセンサー、

前記レイヤは、第一の相及び第二の相により周囲を取り囲まれた複数の粒子を有してい

10

20

て、各粒子は、100～10,000nmの範囲内の平均サイズ及び1wt%よりも低い酸素レベルを有する一つまたはそれ以上のグレインを有している。

【請求項4】

下記特徴を有する請求項1から3の何れか1項に記載のセンサー、
第一の相は、前記レイヤの10～90wt%を占めている。

【請求項5】

下記特徴を有する請求項1から4の何れか1項に記載のセンサー、
前記レイヤは、10～50μmの範囲内の平均サイズを有する材料粒子を含む粉末の溶射により、部材の表面の上に形成されていて、前記第一の相及び第二の相は、溶融されまたは部分的に溶融された材料粒子で作られている。

10

【請求項6】

下記特徴を有する請求項1から5の何れか1項に記載のセンサー、
前記磁気弾性材料は、鉄、ニッケル及びコバルトからなるグループから選択された一つまたはそれ以上の構成成分からなる、金属または金属合金を少なくとも60at%、有している。

【請求項7】

下記特徴を有する請求項1から6の何れか1項に記載のセンサー、
前記磁気弾性材料は、23～65wt%の範囲内の鉄、及び35～77wt%の範囲内のニッケルを含んでいる。

【請求項8】

20

下記特徴を有する請求項1から7の何れか1項に記載のセンサー、
前記レイヤの中の磁気弾性材料の少なくとも50wt%は、1wt%より低い酸素レベルを有している。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、荷重支持部材に加えられる力により引き起こされる応力を測定するためのセンサーに係り、ここで、当該センサーは、荷重支持部材の上に形成された磁気弾性(magnetoelastic)材料のレイヤを含んでいて、このセンサーは、磁気弾性レイヤの中に経時変化する磁場を作り出し、レイヤの中の透磁率の変化を検出して、レイヤの中の透磁率の検出された変化に基づいて、引き起こされた応力を決定するように構成されている。本願発明はまた、そのようなレイヤを製造するための方法に係る。

30

【背景技術】

【0002】

このセンサーは、荷重支持部材に加えられる力により引き起こされるレイヤの中の応力および／または歪を測定する。荷重支持部材に加えられる力は、例えば、引張り力、圧縮力、またはトルクであって、荷重支持部材は、例えば、金属のシャフトである。以上に記載されたタイプのトルク・センサーは、従来技術として、例えば、EP 0 309 979 から、良く知られている。この荷重支持部材の目的は、応力測定レイヤに荷重を伝達することである。

40

【0003】

磁気弾性材料は、磁気歪効果(magnetostrictive)材料とも呼ばれ、力が加えられたときに、その透磁率が変化する材料である。磁気弾性材料の例は、鉄、ニッケル、コバルト及び希土類金属またはその合金である。

【0004】

硬磁性材料は、強い磁場に曝された後に、磁化されたまま留まる。軟磁性材料は、強い磁場に曝された後に、磁化された状態のまま留まることができない。軟磁性材料は、それが磁化され後に、静的な磁場を維持することが可能ではない点で、硬磁性材料と異なっている。硬磁性材料は、典型的に、数千A/mを超える保磁力を有している。軟磁性材料は、かなり低い保磁力、典型的には、1,000A/mより低い保磁力を有している。

50

【0005】

機械的な応力を、大きな荷重範囲で測定することを可能にするに對する要望がある。例えば、自動車産業においては、200～300MPaまでの強度の、トルクにより生ずる剪断応力を測定することに對する要望がある。更に、機械的な及び熱疲労に對する抵抗のために長期間安定な、且つリニアな、即ち、測定装置からの出力信号が、荷重支持部材に掛かる荷重に本質的に比例するトルク測定装置を見出すことに對する要望がある。更に、測定装置からの出力信号のクリーピングを減少させ、更にはそれを取り除くこと、即ち、一定の荷重の下で出力信号がその値を変化させないことに對する要望がある。出力信号のヒステリシスは、それが測定誤差を増大させるので、避けられなければならない。緻密なレイヤ、及びレイヤと荷重支持部材との間の良好な付着性は、長期間安定で、大きな荷重範囲を有し、且つ低いヒステリシスを有する測定装置を実現するための前提条件である。

10

【0006】

磁気弾性効果は、磁氣的なドメイン・ウォールの移動により説明される（例えば、Modern Magnetic Materials, Robert C. O'Handley, Chapter 7; ISBN 0-471-15566-7 を参照方）。このようにして、磁氣的なドメインの形状及びサイズ、及び磁氣的なドメイン・ウォールのモビリティが、磁気弾性効果に基づくセンサーを製造する際に、本質的に重要である。

【0007】

磁氣的なドメイン（一様な磁化方向を備えた領域）は、磁氣的なドメイン・ウォールとして規定された境界を有している。これらの磁氣的なドメイン・ウォールは、材料の磁化方向に依存して、磁気弾性材料の中で移動することが可能である。これらのウォールは、均一な単結晶材料の中で、自由に移動することが可能である。単結晶は、構造的に及び化学的に均一なので、単結晶材料の中では、これらのウォールが、障害物に遭遇することが無い。アモルファス材料の中で、磁氣的なドメイン・ウォールは、障害物に遭遇することが無い。その理由は、構造的なまたは化学的な変動が、そのような材料の中では、ドメイン・ウォールの厚さより遥かに小さいからである。典型的に、軟磁性材料（例えばNiFeまたはFeCo）の中での磁氣的なドメイン・ウォールの厚さは、数百ナノメートルのオーダーであって、極端な場合には、1μmまでであり、それ故に、100nmより小さいグレイン・サイズは、ドメイン・ウォールに對する効果的な障害物を形成することが可能ではない。そのような材料の中での、磁氣的なドメインの形状及びサイズは、磁場、及び磁化される系のエネルギーを最小にしようとする磁化の対象物の形状に依存する。

20

30

【0008】

W02007/106024 は、荷重支持部材の上にレイヤを製造するための方法を開示している。このレイヤは、荷重支持部材に加えられる力により引き起こされる応力を測定するために意図されていて、ここで、この方法は、部材の表面の上に、50nmより小さい平均粒径を有する磁気弾性合金のナノクリスタルのレイヤを形成し、このレイヤを、合金の結晶化が起こり、平均粒径が100nmから10,000nmまでの範囲内になるまで熱処理すること、を含んでいる。

【0009】

この方法は、それが一つまたは少数の磁氣的なドメインを収容するために十分に大きいグレイン・サイズを備えた微細組織のレイヤを作り出すと言う事実のために、レイヤの応力測定性能をドラスティックに改善する。50nmより小さい平均粒径を有するナノクリスタルの（nanocrystalline）レイヤは、結晶化のための好ましい条件をもたらし、上述の微細組織を適合させる。10,000nmより大きいグレインを備えた微細組織は、より高い磁気弾性感受性を有する傾向があり、それは、上述の広い測定範囲を実現しようとするときには、好ましくない。

40

【0010】

上記レイヤは、好ましくは、電気メッキにより部材の上に形成される。その理由は、電気メッキが、所望のグレイン・サイズのナノクリスタルのレイヤを実現するために適切な

50

方法であるからである。上記の文献は、荷重支持部材の上にレイヤを付けるために、PVD (Physical Vapour deposition) 法、CVD (chemical Vapour deposition) 法、及び金属溶射 (metal spraying) などのような、他の方法を使用することも可能であることを指摘している。しかしながら、電気メッキ法に関しては、幾つかの弱点がある。一つの弱点は、厚いレイヤを付けるために非常に長い時間がかかるということである。

【0011】

荷重支持部材の上の上述のレイヤは、適切には、30 μm より厚く、好ましくは、100 μm と300 μm との間にある。そのような厚いレイヤを電気メッキで付けるためには、数時間かかる。従って、電気メッキは、荷重支持部材の上に上記レイヤを付けるために、商業的に魅力的な方法ではない。電気メッキについての更なる弱点は、レイヤが付けられる材料の強度の低下を招く可能性があるということであり、それは、特に、浸炭鋼などのような硬化された材料に対して問題になる。

10

【0012】

レイヤの付着が迅速で且つ容易であって、それ故に、経済的に実現可能であることは、重要である。PVDまたはCVDなどのような、1原子毎 (atom-by-atom) の方法を使用したレイヤの付着は、遅く、数十または数百ミクロンの厚さのレイヤを製造する際に、限界を有している。溶射 (thermal spraying)、レーザ・クラディング、及び焼結、などのような、粉末冶金法は、レイヤの厚さを製造する際に極めて迅速であって、且つ荷重支持レイヤの強度を損なうことが無いという優位性を有している。

20

【0013】

高速度溶射 (high velocity thermal spray) 技術は、粒子で作られた粉末が表面上に溶射されるコーティング・プロセスである。粉末は、付着される前に、加熱されることが可能である。粉末は、典型的に、溶射ガンの中に供給され、被覆される材料の方向へ加速される際に、その中で加熱されても良い。溶射された粒子が表面に到達すると、それらの温度が下がり、コーティングを形成する組織が作り出される。金属のレイヤを形成する際の、粉末冶金法の顕著な特徴は、作り出されたコーティングの不均一性にあり、それは、コーティングの中で、完全にまたは部分的に溶融されたまま留まる粒子のためである。一般的に、粉末の中での粒子の表面は、他の材料の外側のレイヤで、しばしば金属の酸化物で、覆われている。粒子の外側のレイヤがコーティングの中に含まれていて、それにより、作り出されたコーティングの不均一性に寄与する。多くの粉末冶金法に関して良く知られている問題は、粉末の加熱に起因する酸化、及び、溶射の間、金属粉末が空気と接触状態に有ると言うことである。

30

【0014】

作り出されたコーティングの不均一性、及び、レイヤの堆積の際の比較的高い温度のために、高速度溶射技術は、化学的組成及びグレイン・サイズについて所望の均一性を備えた、均一なナノクリスタルのレイヤを実現するために適切ではない。このようにして、高速度溶射技術は、WO 2007/106024 に記載された方法を実施するために必要とされる、均一なナノクリスタルのレイヤを製造するために使用されることが可能ではない。

【0015】

US 6,465,039 は、シャフトの上に磁気歪効果複合コーティングを形成するための方法を開示している。磁気歪効果希土類-鉄複合物 (REF2) 粒子とマトリクス金属粒子の粉末の混合物が、溶射ガスの流れの中に供給され、低い温度の高速度溶射により、シャフトの上に付けられる。ガスの温度は、300~1,000 $^{\circ}\text{C}$ の間で変わっても良い。マトリクス金属粒子は、63から90 μm までの範囲内の粒子サイズで、磁気歪効果希土類鉄粒子は、63から106 μm までの粒子サイズで、シャフトに対して溶射される。コーティングそれ自体は、硬質な磁化される材料を含んでいて、それにより、コーティングの中に静的な磁場を作り出して、それを維持する。このコーティングを備えたシャフトは、シャフトに加えられる、トルクを測定するためのセンサーで使用される。静的な磁場は、コーティングの透磁率の変化のために、シャフトに加えられるトルクに依存して、方向を変えられる。

40

50

【0016】

US 6,465,039 に記載された磁気弾性センサーを首尾良く使用するためには、数千また更には数万 A/m の範囲に亘って保磁力を備えた、磁氣的に硬質な材料を有することが要求されるが、それは、透磁率の変化を検出するために、測定装置の中の電圧を含むレイヤの中で経時変化する磁性の原理で動作する磁気弾性センサーの場合には、必要ではない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0017】

【特許文献 1】 欧州特許出願公開第 EP 0 309 979 号明細書

【特許文献 2】 国際公開第 W02007/106024 号明細書

10

【特許文献 3】 米国特許第 US 6,465,039 号明細書

【発明の概要】

【0018】

本願発明の目的は、良好な応力測定性能を有する磁気弾性材料のレイヤを製造するための方法を提供することにある、この方法は、電気メッキの上述の弱点を克服する。

【0019】

この目的は、請求項 1 の中で規定されている方法により実現される。

【0020】

そのような方法は、 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ の範囲内の平均サイズを有する軟磁性且つ磁気弾性の材料の粒子を、 300 m/s を上回る速度で、荷重支持部材の表面の方向へ加速し、それにより、加速された粒子平均温度が、前記磁気弾性材料の溶融温度より 500°C 超高くなることなく、また前記磁気弾性材料の溶融温度より 500°C 超低くなることのないようにすること、を含んでいる。

20

【0021】

発明者は、驚くべきことに、そのような方法が、W0 2007/106024 に記載された方法と比較して、等しく良好な、または更に良い応力測定性能を備えたレイヤを実現することを発見した。この方法の優位性は、それが非常に迅速であって、従って経済的に実現可能であり、荷重支持部材の強度を損なうことが無いということにある。比較的低い温度及び粒子の高速のために、前記レイヤの中の酸化のレベルが低く維持され、従って、センサーからの出力信号の低いヒステリシスが実現される。更に、粒子の高速はまた、前記レイヤと荷重支持部材の間の良好な付着性をももたらす。

30

【0022】

粒子の平均温度は、溶融温度より 500°C 超低くなることのないこと、好ましくは溶融温度より 200°C 超低くなることのないこと、より好ましくは溶融温度より 100°C 超低くなることのないことが必要である。粒子の平均温度は、溶融温度より 500°C 超高くなることのないこと、好ましくは溶融温度より 200°C 超高くなることのないこと、より好ましくは溶融温度より 100°C 超高くなることのないことが必要である。

【0023】

粒子の平均温度が、粒子の溶融温度の近傍にあるので、粒子の大半は、少なくとも部分的に溶融され、それらが荷重支持部材の表面に付けられるときに、変形されることになる。これは、多数の領域がレイヤの中に形成されることをもたらし、ここで、各領域は、明確に異なる化学的なまたは構造的な性質を有する材料により周囲を取り囲まれ、それにより、磁場が存在するときに、領域の間のドメイン・ウォールを形成する。領域内の材料と周囲を取り囲む材料は、化学的組成、結晶方向および／またはグレイン・サイズが異なっても良い。加速された粒子のサイズ、速度、及び温度は、領域のサイズに強く影響する。

40

【0024】

試験により判明したところによれば、 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ の範囲内の平均サイズ及び磁気弾性材料の溶融温度に近い温度を有する粒子加速することにより、 $100 \text{ nm} \sim 10,000 \text{ nm}$ の範囲内の平均サイズを有する領域が実現される。このサイズの領域は、一つまた

50

は少数の磁気的なドメインを形成する。そのような微細組織は、好ましい応力測定性能を提供することが判明している。それ故に、レイヤの平均グレイン・サイズが、100 nmより大きいことも小さいことも可能であり、それでもなお、好ましい応力測定性能が実現されることが可能である。更に、粒子の溶融温度に近い粒子の平均温度は、緻密なレイヤをもたらし、そのようなレイヤは、良好な付着性を有している。

【0025】

レイヤの所望の強度及び密度を実現すること、及びシャフトへの良好な付着性は、もし、粒子の少なくとも一部が溶融される場合には、好ましい。磁気弾性材料の溶融温度は、典型的に約1,500℃である。1800℃近傍のガス温度は、磁気弾性材料の溶融点の近傍の粒子温度を実現し、従って部分的に溶融した粒子。溶融温度に近い温度を実現するために、1,500～1,900℃の範囲内の温度を有するガスにより、粒子を加速することが適切である。

10

【0026】

磁気弾性材料の粉末粒子は、高温ガスの流れの中で、僅か数ミリ秒またはそれ以下しか過ぎないので、そのような粒子は、基板に衝突するとき、平衡温度に到達するまでの時間を有しておらず、即ち、ガスと直接接触する状態にある粒子の表面は、粒子の中心と比べて高い温度になっている。それは、比較的大きな粒子の場合に当てはまる。ダスト粒子は、高温ガスの流れで移送の間に、しばしば、溶融されて、酸化される。これらの大きく異なる温度条件は、レイヤが形成されるとき粒子の酸化、及びそれらの最終的なクリスタライトのサイズに対して大きな影響を有している。

20

【0027】

金属のレイヤを製造するときには、酸化を減少させるという明らかな狙いがあり、それは、磁気弾性センサーの場合に、より低いヒステリシスのセンサーをもたらすことになる。より大きな粉末粒子は、以上の論じたように、非常に低い酸化レベルをもたらすことになるが、その代わりに、粒子の付着性と粒子の間の凝集力の両方が損なわれることになる。本発明に基づく方法によれば、1 wt %より低い酸素レベルを備えた複数の磁気弾性領域を実現することが可能である。

【0028】

完全に溶融した粒子は、酸化し易く、基板に衝突した際に、100 nmより小さい平均クリスタライト (crystallite) のサイズを備えたナノクリスタルの組織に急冷される。溶融粒子の中の酸素組成は、キャリア・ガスの温度及びガスの中への酸素の供給量に依存する。本発明に基づく方法によれば、溶融粒子の低い酸化が、好ましくも実現される。

30

【0029】

他方、溶融されていない粒子は、基板の方向への移送の間に、しばしば、再結晶するために十分な程に加熱され易く、固体状態で基板に衝突し、それが、クリスタライトのサイズを、数千ナノメートルの範囲内の、やや大きいものにする。全ての金属溶射堆積法は、溶融の望ましいレベル、それ故に、クリスタライトの望ましいサイズ、及び良好な付着性を備えた緻密なレイヤを実現することを可能にする最適な粒子サイズを有している。

【0030】

商業的に入手可能な粉末は、特定の範囲内で、異なるサイズの粒子を含んでいる。それ故に、レイヤが、結晶サイズに関して不均一になり、それが、驚くべきことに、磁気弾性材料の直径の中でレイヤを数百ナノメートルの領域に分割することを助ける更なるパラメータを与え、望ましい磁気的ドメインのサイズを与え、磁気弾性レイヤの力センサーの特性を適合させることを可能にする。

40

【0031】

金属グレイン境界、酸化物レイヤ、または異なる化学的組成を備えた領域及びレイヤなどのような構造的な特徴が、磁気的ドメインの境界を規定し、そして、もし、これらの特徴が少なくとも100 nm分離されている場合には、それらは、磁気的なドメイン・ウォールに対する障害物を効果的に形成して、磁気的なドメイン・ウォールに対するピンニング (pinning) をもたらすことが可能である。100 nmを上回る範囲内にあって、レイ

50

ヤの中のこれらの構造的な及び化学的な欠陥により拘束される磁気的なドメインは、比較的低い透磁率及び磁気弾性感受性などのような、望ましい磁気弾性センサー特性をもたらす。

【0032】

驚くべきことに、本発明に基づく方法によれば、透磁率及び磁気弾性感受性の所望の比較的低いレベルが、加熱などのような更なる処理無しに実現される。

【0033】

好ましくは、磁気弾性材料の粒子は、 $10 \sim 30 \mu\text{m}$ の範囲内の平均サイズを有している。それにより、可能な限り多くの領域が、 $100 \text{ nm} \sim 10,000 \text{ nm}$ の範囲内の平均サイズ、最も好ましくは $100 \text{ nm} \sim 1,000 \text{ nm}$ の範囲内の平均サイズを有することが確保される。この実施形態はまた、より緻密な、且つより良い付着性を有するレイヤをもたらす。

10

【0034】

好ましくは、上記の粒子は、高速度溶射 (thermal spray method) により、例えば、高速度空気燃料 (H V A F : High Velocity Air Fuel) により、荷重支持部材に付けられる。このH V A Fは、所望の範囲内の粒子温度及び速度、領域の低い酸素レベル、及び良好な凝集力を備えた緻密なコーティングをもたらす。

【0035】

本願発明の他の目的は、良好な応力測定性能を有する磁気弾性レイヤを備えたセンサーを提供することであって、このレイヤは、電気メッキの上述の弱点を克服する方法を使用して、荷重支持部材の上に形成されることが可能である。

20

【0036】

この目的は、請求項6の中で規定されているようなセンサーにより実現される。

【0037】

そのようなセンサーの特徴は、前記レイヤが不均一であって、 100 nm より小さい平均粒径及び第一の化学的組成を備えた第一の相、及び明確に異なる化学的組成の第二の相を有していて、第一の相は、第二の相により、 $100 \sim 10,000 \text{ nm}$ の範囲内の平均サイズを有する領域に分割され、それらの領域の内の複数が $1 \text{ wt} \%$ より低い酸素レベルを有していることにある。

【0038】

30

第一の相及び第二の相は、溶融された粉末粒子で作られる。第一の相及び第二の相は、明確に異なる化学的組成を有していて、第二の相は、第一の相を複数の領域に分割し、それらの複数の領域は、従って、磁場の存在の下で磁気的なドメインを形成する。その明確に異なる化学的組成のために、第二の相は、前記領域の周りに磁気的なドメイン・ウォールを規定する。 100 nm より大きい $10,000 \text{ nm}$ より小さい範囲内の領域を備えた微細組織は、比較的低い透磁率及び磁気弾性感受性などのような、望ましい磁気弾性センサー特性をもたらす。本発明に基づくセンサーは、リニアなセンサーを実現するために、大きな荷重範囲、低いヒステリシス、及び低い感受性を有している。従来技術とは異なり、所望の応力測定性能を実現するために、不均一レイヤの平均粒径は、最早重要ではない。重要であることは、領域の平均サイズである。

40

【0039】

領域内での、 $1 \text{ wt} \%$ よりも低い酸素レベルは、センサーからの出力信号の低いヒステリシスを保証する。酸素レベルとの用語は、相の中の酸素の量を意味している。 $1 \text{ wt} \%$ よりも高い酸素レベルを備えた領域が存在していても良い。しかしながら、所望の応力測定性能を実現するために、領域の主なる部分は、 $1 \text{ wt} \%$ より低い酸素レベルを有していなければならない。低いヒステリシス及び望ましい低い感受性を実現するために、好ましくは、レイヤの中の磁気弾性材料の少なくとも $50 \text{ wt} \%$ は、 $1 \text{ wt} \%$ より低い酸素レベルを有している。

【0040】

所望の領域及びドメイン・ウォールのピンニングを実現するための一つの代替形態は、

50

第一の化学的組成を有する領域を設けることであり、これらの領域は、第一の組成と異なる第二の化学的組成の材料により周囲を取り囲まれている。第一の組成を備えた領域と、周囲を取り囲む第二の組成を備えた領域との間の境界線が、ドメイン・ウォールを形成する。例えば、第一の化学的組成の酸素レベルは、1 wt %より小さく、第二の化学的組成の酸素レベルは、5 wt %を超える。

【0041】

粉末の加熱、及び溶射の間に金属粉末が空気と接触状態に有ると言う事実のために、粒子の表面が酸化物のレイヤで被覆されることになる。部分的に溶融した粒子が、荷重支持部材に衝突したとき、粒子は、部分的に変形されるが、完全には破壊されない。酸化物コーティングの残りの部分は、境界を形成し、それらの境界は、領域の周りの磁氣的なドメイン・ウォールであることが可能であり、それ故に、磁気弾性センサーのために適切なサイズの磁氣的なドメインをもたらす。この実施形態によれば、第二の相は、金属酸化物で作られる。その代わりに、第二の相は、窒化物、炭化物または弗化物で作られることが可能である。純金属または半金属 (metalloids) もまた、第二の相を形成することが可能である。

【0042】

所望の領域境界を実現するための、それ故に、磁氣的なドメイン・ウォールのピンニングサイト、即ち、磁氣的なドメイン・ウォールに対する障害物を実現するための、他の代替形態は、100 nm～10,000 nmの範囲内の平均粒径を有し、100 nmより小さい平均粒径を有する材料により周囲を取り囲まれた領域を設けることである。より大きいグレイン・サイズを備えた領域と、周囲を取り囲むより小さいグレイン・サイズを備えた領域との間の境界線が、磁氣的なドメイン・ウォールに対する障害物を形成する。より小さいグレイン・サイズを備えた領域は、溶融された粉末粒子で作られている。より大きいグレイン・サイズを備えた領域は、非溶融粉末粒子で作られている。そのようなレイヤは、例えば、異なるサイズの粒子を含んでいて、より小さいサイズを備えた粒子の部分を含む粉末を使用することにより作り出され、それらの粉末は、溶射の間に溶融され、それにより、100 nmより小さい平均粒径を有する材料を形成する。

【0043】

本発明の実施形態によれば、このレイヤは、100 nmを超える平均粒径を有する第三の相を有していて、第三の相は、第一の相及び第二の相により周囲を取り囲まれた複数の粒子から構成され、各粒子は、100～10,000 nmの範囲内の平均サイズ及び1 wt %より低い酸素レベルを有する、一つまたはそれ以上の領域を有していて、各領域は、明確に異なる構造的な性質を有する材料により周囲を取り囲まれている。第三の相は、溶融粒子で周りを取り囲まれた非溶融粒子で作られる。粉末粒子は、100～10,000 nmの範囲内の平均粒径を有する一つまたはそれ以上のグレインを含んでいる。これらのグレインは、異なる結晶方向を有している。グレインの間の境界線が、磁氣的なドメイン・ウォールを規定する。更に、第一の相と第三の相との間の境界線もまた、明確に異なるグレイン・サイズのために、磁氣的なドメイン・ウォールを形成する。従って、グレインは、磁場の存在の下で、磁氣的なドメインを形成する。

【0044】

好ましくは、第一の相及び第二の相は、レイヤの10～90 wt %を占め、より好ましくはレイヤの20～80 wt %を占める。最も好ましい応力測定性能は、第一の及び第三の相の重量パーセントがほぼ同一のときに実現される。

【0045】

好ましくは、磁気弾性レイヤは、10～50 μm範囲内の平均サイズを有する材料粒子を含む粉末の溶射により、部材の表面の上に形成されていて、前記第一の相及び第二の相は、溶融されまたは部分的に溶融された材料粒子で作られる。溶射は、非常に迅速にレイヤ厚さを作り出し、且つ荷重支持部材の強度を損なうことが無い。

【0046】

本発明の実施形態によれば、磁気弾性材料は、鉄、ニッケル及びコバルトからなるグル

10

20

30

40

50

ープから選択された一つまたはそれ以上の構成成分からなる金属または金属合金を、少なくとも60at%有している。優れた性質を備えたレイヤを与えることが判明している適切な合金は、23~65wt%、好ましくは25~50wt%、最も好ましくは30~45wt%の範囲内の鉄、及び、35~77wt%、好ましくは50~75wt%、及び最も好ましくは55~70wt%の範囲内のニッケルを含む合金である。

【0047】

本発明に基づくセンサーは、例えば、エンジン、自動車、飛行機、ジェット・エンジン、自転車、ギアボックス、自動車のパワーステアリング、工具、プロペラ・エンジン、またはヘリコプターにおいて、力またはトルクを測定するために使用されても良いが、それらのみに限定されることはない。本発明に基づくセンサーは、車両のトルクを測定するために特に有用である。

10

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】図1は、磁気弾性レイヤで覆われた荷重支持部材を含む測定装置の例を示す。

【図2】図2は、本発明に基づく磁気歪効果レイヤの特徴的な微細組織の図面を示している、この微細組織は、内側にグレインを備えた粒子、及び粒子の間の前もって溶融された領域を含んでいる。

【図3】図3は、本発明に基づく磁気歪効果レイヤの、前もって溶融された領域を拡大図で示している。

【図4】図4は、本発明に基づく磁気歪効果レイヤの、前もって溶融された領域を更なる拡大図で示している。

20

【図5】図5は、異なる方法により作り出された磁気弾性レイヤを含む四つのセンサーに対する、ヒステリシスの実験データを、トルクの関数として示している。

【発明を実施するための形態】

【0049】

以下において、本発明が、本発明の異なる実施形態の説明により、且つ添付図面を参照しながら、より詳しく説明される。

【0050】

図1は、荷重支持部材（ロータリー・シャフト1の形態である）を含む測定装置の例を示している、この荷重支持部材は、任意の種類の機械的なトランスミッションにおいて、トルクを伝達するように構成されている。この装置は、荷重支持部材に加えられるトルクを測定するように構成されている。荷重支持部材は、十分な剛性を備えた材料、例えば鋼、で作られている。磁気弾性領域2は、シャフト1の上に設けられる。磁気弾性領域2は、磁気弾性材料の第一のレイヤ3を有している、この第一のレイヤは、前記領域2の中に実質的に連続する広がり及び厚さを有している。この実施形態において、磁気弾性レイヤ3は、溶射により形成され、且つ主として鉄及びニッケルからなる。

30

【0051】

第二のレイヤ4は、連続するストリップの形態であって、第一のレイヤ3の上に設けられる。第二のレイヤ4は、第一のレイヤ3の上に表面パターンを形成する。更に、この測定装置は、測定装置に交流磁場を供給する巻線5a、bを含んでいる。このタイプの測定装置は、例えば、国際特許出願 W0 01/44770 の中に、より詳細に記載されている。本願発明は、この第一の磁気弾性レイヤ3、及びそのようなレイヤを製造するための方法に係る。

40

【0052】

特定の範囲内の鉄、ニッケル及び他の合金元素を含む合金が良好な応力測定性能を実現することが、実験により判明している磁気弾性レイヤは、例えば、約50wt%の鉄、約50wt%のニッケル、及び1wt%より少ない他の合金元素から構成されている。しかしながら、未だ試験されていないが、特定の比率での合金元素の他の組み合わせが、本発明に基づく方法を使用して、同一の結果を実現するであろうことは、十分に考えられる。当業者は、この方法が他の合金元素に対しても同様に有効であるか否か、且つ、どの範囲

50

でそれが有効であるかについて、しかるべきやり方で、見出すであろう。例えば、鉄及びコバルト、またはニッケル及びコバルトの組み合わせは、おそらく、同一の結果を実現するであろう。

【0053】

レイヤ3の材料を製造するための本発明に基づく方法は、10～50 μm の範囲内の平均サイズを有する軟磁性且つ磁気弾性の材料の粒子を、荷重支持部材の表面1の方向へ、少なくとも300 m/s の速度に、加速すること、を含んでいて、それにより、加速された粒子平均温度が、粒子の熔融温度より低い、熔融温度より500℃超低くなることがないようにする。これらの粒子は、硬磁性材料を含んでおらず、軟磁性材料のみである。幾つかの商業的に入手可能な溶射方法が存在する。しかしながら、それらの方法は、溶射粒子の温度及び速度で異なっている。

10

【0054】

所望の粒子温度及び速度を実現するための特に適切な方法は、高速度空気燃料（H V A F : High Velocity Air Fuel）である。H V A Fのプロセスは、例えば、“Activated Combustion H V A F Coatings for Protection against Wear and High Temperature Corrosion” A. Verstak、及び V. Baranovski, UniqueCoat Technologies, Ashland, Virginia USA に記載されている。このH V A Fプロセスによれば、溶射粉末粒子は、700 m/s を十分に超える速度まで加速される間に、それらの熔融点より低く加熱され、熱的な劣化を最小に抑えた、緻密な且つ非酸化の堆積物を形成する。

20

【0055】

その代わりに、荷重支持部材上にレイヤを付けるために、粉末の予加熱を行うコールド溶射（cold spraying）（動的溶射（kineticspraying）とも呼ばれる）が使用されることが可能である。高速度酸素燃料（H V O F : High Velocity Oxygen Fuel）もまた、使用される可能性のある方法である。もし、H V O Fが使用される場合には、酸素のレベルを減少させる必要があり、そのために、例えば、より大きい粒子サイズを備えた粉末を選択して、保護雰囲気または真空雰囲気で溶射する。

【0056】

他の可能性は、焼結を使用してレイヤを付けることである。他の可能性は、異なる溶射方法の強度を結合するために、異なる方法で付けられる二以上のレイヤを使用することである。例えば、第一のレイヤは、金属のシャフト上へのH V O Fで付けられて、シャフトに対する良好な凝集力を備えたレイヤを実現し、次いで、第二のレイヤが、良好な応力測定性能をもたらすコールド溶射で第一のレイヤの上に付けられる。

30

【0057】

本願発明の好ましい測定性能を実現するために、レーザ・コーティング、磁気弾性レイヤの再熔融などのような、炭素または窒素をレイヤの中に導入する付着方法の使用は、避けなければならない。もし、領域の中の炭素及び窒素の合計組成が1 wt %を超える場合には、センサーのヒステリシスが過大になる危険性がある。上述の溶射方法は、磁気弾性部分のレイヤの中に炭素または窒素を導入することがなく、従って適切な方法である。従って、領域の少なくとも一部の中での炭素及び窒素の合計組成は、1 wt %より小さくする必要がある。もし、その方法が、レイヤの中に酸素も導入する場合には、領域の少なくとも一部の中での炭素、窒素及び酸素の合計組成は、1 wt %より小さくする必要がある。

40

【0058】

溶射された状態における溶射された金属のレイヤは、多数の欠陥を含んでいて、それらの欠陥は、レイヤの磁気弾性性能を安定化するために、アニールされることが可能である。

【0059】

金属溶射堆積のプロセスにおいて、 Al_2O_3 などのような、硬質な粒子を使用することが好ましく、それらの粒子は、明確により高い熔融点を有していて、それ故に、ほどほどに（典型的には5～10 vol %）レイヤの中に導入されるであろう。これらの粒子は

50

、レイヤの付着性に対して良い影響を与え、それにより、センサーの他の磁気弾性性能に大きな影響を及ぼすこと無く、センサーの長期間の安定性、及びより低い磁気弾性センサーヒステリシスを与える。

【0060】

図2は、本発明に基づく、且つ本発明に基づく方法により作り出された、磁気歪効果レイヤの特徴的な微細組織の図面を示す。これらのレイヤは、鉄-ニッケル合金などのように、明確に異なるグレイン・サイズを備えた溶融及び非溶融相を有する異相 (heterogeneous) 磁気弾性材料から構成されている。この非溶融相は、粉末粒子から生じた複数の粒子10a, bを有している。各粒子は、一つまたはそれ以上のグレイン12a, bを含んでいる。グレインは、酸化物のレイヤにより周囲を取り囲まれていることもある。グレイン12a, bの大半は、1wt%より低い酸素レベルを有していて、非溶融相の中のグレインの平均サイズは、100nmと10,000nmとの間である。グレインは、1%よりも低い酸素の領域12a, bを形成する。

10

【0061】

各領域は、磁気的なドメインを、即ち、一様な磁化方向を有する領域を、形成することが可能である。例えば、粒子10aのそれぞれは、唯一つのグレインを含んでいて、このグレインが、従って、一つの領域12aを形成する。粒子10bのそれぞれは、複数のグレインを含んでいて、各グレインが一つの領域12bを形成する。粒子のグレインは、異なる結晶方向を有していて、それ故に、構造的な境界がグレインの間に形成され、これらの境界が領域の間のドメイン・ウォールとして機能する。非溶融相の粒子は、溶融された相の材料14により周囲を取り囲まれている。溶融された相の材料は、100nmより小さい平均粒径を有している。溶融された相の材料は、溶射プロセスで溶融されその後で凝固した粒子で形成されている。二つの相間の境界もまた、磁気的なドメイン・ウォールを形成する。

20

【0062】

図3は、溶融された相の材料を、拡大図で示している。図4は、溶融された相の材料を、更なる拡大図で示している。溶融された相は、溶射プロセスで溶融された材料で作られていて、図4に示すように、100nmより小さい平均サイズを有する多数の小さいグレイン15を含んでいる。グレインの大半は、1wt%より低い酸化物レベルを有している。溶融された相の材料はまた、他の化学的組成の境界17を(通常、酸化物)含んでいて、それらが、グレイン15の領域18の周囲を取り囲んでいる。

30

【0063】

この例において、境界は金属酸化物で作られ、それらは、酸化物相と呼ばれる。溶融された相14は、酸化物相により、100~10,000nmの範囲内平均サイズを有する領域に分割されている。それらの領域の内の複数は、1wt%より低い酸素レベルを有している。境界17の材料は、粉末の粒子上への酸化物コーティングから生ずることもある。粒子が溶融されたとき、酸化物コーティングが、小さいグレイン15の領域18の周囲を取り囲む境界を形成することになる。そのような場合において、境界の中の酸化物組成は、非常に高く、明確に5wt%より高い。溶融された相は、小さいグレインの領域18を含む第一の相、及び異なる化学的組成の境界17を含む第二の相を含んでいる。

40

【0064】

グレイン15と境界17との明確に異なる組成のために、磁気的なドメイン・ウォールを形成する領域18と、境界17により周りを取り囲まれた領域18との間の境界17が、磁気的なドメインを形成する。これらの領域18は、100nm~10,000nmの範囲内の平均サイズを有している。それ故に、溶融された相もまた、1wt%より低い酸素レベルを有する複数の領域18を含んでいる。従って、図2、3及び4に示されたレイヤは、二つのタイプの領域を有していて、一方のタイプ12a, bは、明確に異なる構造的な性質(グレイン・サイズ)を有する材料により周囲を取り囲まれ、そして、材料により周囲を取り囲まれたもう一方のタイプは、明確に異なる化学的な性質(組成)を有している。

50

【0065】

そのようなレイヤは、異なるサイズの粒子を含み、且つ小さいサイズの粒子の部分をも含む粉末を使用することにより作られ、それらは、溶射の間に溶融され、または、溶射の間に粒子の大半が溶融されるように、やや高い溶射温度を使用することにより溶融される。

【0066】

図5は、四つのトルク・センサーからの出力信号のヒステリシスの3本の曲線A、B、Cを、センサーに加えられるトルクの関数として、を示している。出力信号のヒステリシスは、それが測定誤差を増大させるので、避けられなければならない。三つのセンサーのそれぞれは、異なる方法により作り出された磁気弾性レイヤ3を含んでいる。これらの曲線は、実験データに基づいている。ヒステリシスは、測定領域+/-300Nmについて、フスケールに対するパーセント(%)で表されている。各センサーは、ニッケル及び鉄の合金(50wt%の鉄及び50wt%のニッケル)の粒子を含む粉末を使用して、高速度溶射法により作り出されている。鉄-ニッケル合金の溶融温度は、約1,500℃である。

10

【0067】

三つの方法の間で主として異なる点は、加速の間に粒子を運ぶガスの流れの温度、従って加速された粒子平均温度、粒子の速度、及び粒子のサイズである。

【0068】

曲線Aのレイヤは、本発明に基づく方法により作り出されている。加速された粉末は、10~30μmの粒子サイズを有していて、ガス温度は約1800℃、粒子速度は600~900m/s、そして平均粒子温度は合金の溶融温度の近くである。この方法は、1wt%より低い酸素レベル、及び100nm~10,000nmの範囲内の平均サイズを有する複数の領域を備えたレイヤを実現する。しかしながら、例えば、領域の間の境界の中に、より高いレベルの酸素を備えた領域もある。この図から分かるように、この方法は、低いヒステリシスを備えた、従って良好な測定性能を備えたセンサーを作り出す。

20

【0069】

曲線Bのレイヤは、50μmより大きい平均粒子サイズを有する粉末により作り出されていて、ガス温度は約1800℃、粒子速度は600~900m/s、そして平均粒子温度は合金の溶融温度より低い。この方法は、非溶融相の大きな部分を備えたレイヤを作り出し、この部分は、レイヤの中に、悪い密度、及び基板に対する悪い凝集力を生じさせる。この図から分かるように、この方法は、高いヒステリシスを備えたセンサーを、従って貧弱な測定性能を備えたセンサーを、作り出す。粒子大きな平均サイズのために、シャフトに対する悪い付着性、及び緻密でないレイヤが、この方法で作られる。

30

【0070】

曲線Cのレイヤは、10~30μmの粒子サイズを有する粉末により作り出されていて、ガス温度は約2,800℃、粒子速度は300~800m/s、平均粒子温度は合金の溶融温度より大幅に高い。高い粒子温度のために、この方法は、1wt%より低い酸素レベルを有する領域を作り出すことが無い。高い粒子温度は、溶射の間に、全ての粒子を溶融させる。この図から分かるように、この方法は、非常に高いヒステリシスを備えたセンサーを作り出し、従って、非常に貧弱な測定性能を備えたセンサーを作り出す。

40

【0071】

図5から明らかなように、本発明に基づく方法は、際立って低いヒステリシスを備えたセンサーを、従って最良の測定性能センサーを作り出す。

【0072】

粒子温度は、例えば、“SprayWatch”(Oseir Inc. 社)により、測定されることが可能である。粒子の温度は、ガス温度並びに粒子のサイズに依存する。もし、粒子の平均サイズが小さ過ぎる場合には、粒子が燃えてしまうであろう。もし、粒子の平均サイズが大き過ぎる場合、および/または、もし、加速された粒子の速度または粒子の温度が低過ぎる場合には、シャフトに対するレイヤの悪い付着性がもたらされるであろう。

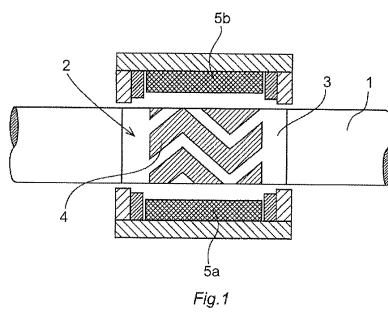
50

【0073】

本願発明は、記載された実施形態に限定されることなく、以下の請求項の範囲の中で、変形され、変更されても良い。

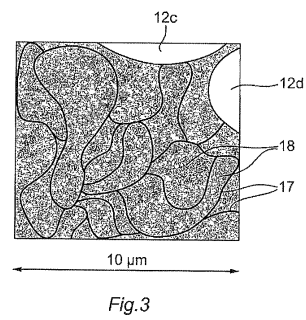
【図1】

図1



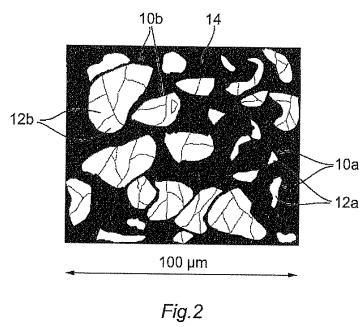
【図3】

図3



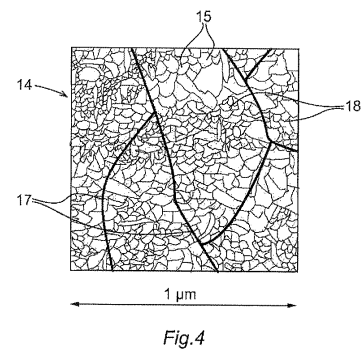
【図2】

図2



【図4】

図4



【図 5】

図 5

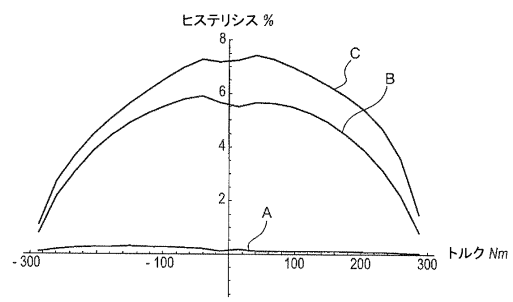


Fig. 5

フロントページの続き

- (74)代理人 100095441
弁理士 白根 俊郎
- (74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100103034
弁理士 野河 信久
- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (72)発明者 リンク、ハンス
スウェーデン国、エスー１６３ ６５ スパンガ、ヒュルスタ・トルク １
- (72)発明者 ミニオタス、アンドリウス
スウェーデン国、エスー７２２ １８ ベステラス、ベルンスボルクススティゲン ２３

審査官 續山 浩二

- (56)参考文献 特開平１１－３２６０８１（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－０２７２８９（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－２６００９３（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－０４１８３３（ＪＰ，Ａ）
特公平０４－００４３９３（ＪＰ，Ｂ２）
米国特許第０５５８５５７４（ＵＳ，Ａ）
米国特許第０６４６５０３９（ＵＳ，Ｂ１）
M. Cherigui, 他４名, "FeSi HVOF thermal spray coatings: diagnostic, microstructure, and magnetic properties", Materials Letters, NL, Elsevier;Amsterdam, ２００５年 ２月, Vol.59, No.4, p.463-467
N.E. Fenineche, 他３名, "Structure and magnetic properties study of iron-based thermally sprayed alloys", Materials Letters, NL, Elsevier;Amsterdam, ２００４年 ４月, Vol.58, No.11, p.1797-1801

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 3/10

G01L 1/12