

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5850464号
(P5850464)

(45) 発行日 平成28年2月3日 (2016.2.3)

(24) 登録日 平成27年12月11日 (2015.12.11)

(51) Int.Cl.

F I

F 1 6 C 33/64 (2006.01)

F 1 6 C 19/06 (2006.01)

F 1 6 C 35/077 (2006.01)

F 1 6 C 35/073 (2006.01)

H O 2 K 7/08 (2006.01)

F 1 6 C 33/64

F 1 6 C 19/06

F 1 6 C 35/077

F 1 6 C 35/073

H O 2 K 7/08

Z

請求項の数 13 (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2013-69098 (P2013-69098)	(73) 特許権者	000109875
(22) 出願日	平成25年3月28日 (2013.3.28)		トーカロ株式会社
(65) 公開番号	特開2014-190508 (P2014-190508A)		兵庫県神戸市東灘区深江北町4丁目13番4号
(43) 公開日	平成26年10月6日 (2014.10.6)	(74) 代理人	110001542
審査請求日	平成27年3月18日 (2015.3.18)		特許業務法人銀座マロニエ特許事務所
早期審査対象出願		(74) 代理人	100143122
			弁理士 田中 功雄
		(72) 発明者	虻川 志向
			兵庫県明石市二見町南二見14番地の3
			トーカロ株式会社溶射技術開発研究所内
		(72) 発明者	水津 電夫
			兵庫県明石市二見町南二見14番地の3
			トーカロ株式会社溶射技術開発研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電蝕防止用転がり軸受

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

金属製の外輪と、
この外輪と複数の転動体を介して同心状に配置されて相対回転自在とされた金属製の内輪と、

前記外輪又は前記内輪の外表面に配置された電蝕防止用のセラミックス溶射皮膜と、を備え、

前記セラミックス溶射皮膜の体積抵抗率が $10^6 \text{ cm} \sim 2.5 \times 10^{12} \text{ cm}$ であり、前記セラミックス溶射皮膜は、アルミニウム酸化物及びチタン酸化物を主成分とする材料からなり、アルミニウム酸化物の含有率は60重量%～97.5重量%とされると共にチタン酸化物の含有率は2.5重量%～40重量%であることを特徴とする電蝕防止用転がり軸受。

【請求項2】

前記セラミックス溶射皮膜の膜厚が $50 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1に記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項3】

前記セラミックス溶射皮膜中に有機系樹脂が充填されていることを特徴とする請求項1または2に記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項4】

前記有機系樹脂が充填されているセラミックス溶射皮膜は、表面粗さ R_a が $1 \mu\text{m}$ 未満

であり、かつスキューネス $R_s k$ が 0 未満であることを特徴とする請求項 3 に記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 5】

前記セラミックス溶射皮膜で被覆されている前記外輪又は前記内輪の溶射前の外表面の表面粗さ R_a が $0.5 \mu m \sim 2.0 \mu m$ であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 6】

前記セラミックス溶射皮膜は、平均粒径： $3 \mu m \sim 15 \mu m$ の粉末を原料として形成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 7】

前記アルミニウム酸化物の含有率は 60 重量% ～ 90 重量% とされると共にチタン酸化物の含有率は 10 重量% ～ 40 重量% であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 8】

金属製の外輪と、

この外輪と複数の転動体を介して同心状に配置されて相対回転自在とされた金属製の内輪と、

前記外輪又は前記内輪の外表面に配置された電蝕防止用のセラミックス溶射皮膜と、を備え、

前記セラミックス溶射皮膜の体積抵抗率が $10^6 \text{ } \Omega \cdot \text{cm} \sim 10^{13} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ であり、前記セラミックス溶射皮膜中に有機系樹脂が充填されており、前記有機系樹脂を充填したセラミックス溶射皮膜は、表面粗さ R_a が $1 \mu m$ 未満であり、かつスキューネス $R_s k$ が 0 未満であり、

前記セラミックス溶射皮膜の膜厚が $50 \mu m \sim 100 \mu m$ である、ことを特徴とする電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 9】

前記セラミックス溶射皮膜で被覆されている前記外輪又は前記内輪の溶射前の外表面の表面粗さ R_a が $0.5 \mu m \sim 2.0 \mu m$ であることを特徴とする請求項 8 に記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 10】

前記セラミックス溶射皮膜は、平均粒径： $3 \mu m \sim 15 \mu m$ の粉末を原料として形成されていることを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 11】

金属製の外輪と、

この外輪と複数の転動体を介して同心状に配置されて相対回転自在とされた金属製の内輪と、

前記外輪又は前記内輪の外表面に配置された電蝕防止用のセラミックス溶射皮膜と、を備え、

前記セラミックス溶射皮膜の体積抵抗率が $10^6 \text{ } \Omega \cdot \text{cm} \sim 10^{13} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ であり、前記セラミックス溶射皮膜で被覆されている前記外輪又は前記内輪の溶射前の外表面の表面粗さ R_a が $0.5 \mu m \sim 2.0 \mu m$ であり、

前記セラミックス溶射皮膜の膜厚が $50 \mu m \sim 100 \mu m$ である、ことを特徴とする電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 12】

前記セラミックス溶射皮膜中に有機系樹脂が充填されていることを特徴とする請求項 11 に記載の電蝕防止用転がり軸受。

【請求項 13】

前記セラミックス溶射皮膜は、平均粒径： $3 \mu m \sim 15 \mu m$ の粉末を原料として形成されていることを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の電蝕防止用転がり軸受。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は転がり軸受に関するものであり、特に鉄道車両の電動モータ等で生じる電流による電蝕をセラミックス溶射皮膜を被覆することで防止した電蝕防止用転がり軸受に関する。

【背景技術】

【0002】

鉄道車両の電動モータの回転軸等の軸受として、金属製の外輪と、この外輪の径方向内側で転動体を介して当該外輪と同心状に配置された金属製の内輪とを備えた転がり軸受が一般に用いられている。鉄道車両の電動モータ、発電機、電気機器の回転軸を支承する転がり軸受には、電動モータ等で生じた電流が外輪、転動体、内輪を伝って流れる。転がり軸受を流れる電流は、転動体と内外輪の接触面でスパークを起こし、電流の通路となる外輪、転動体、内輪に電蝕が生じる。電蝕は転がり軸受の性能を低下させるばかりでなく、寿命減少の要因となる。

【0003】

転がり軸受の例えば外輪とこれを支持するハウジングとの間を絶縁し、転がり軸受に電流が流れないようにすることで電蝕による寿命の低下を防ぐことができる。それには、ハウジングに接触する転がり軸受の外輪の外表面を絶縁材で被覆すればよい。絶縁材としてはセラミックス材料が好適であり、セラミックス材料で被覆するために、転がり軸受の外輪の外表面に溶射法によってセラミックス皮膜を形成することが行われている。

【0004】

特許文献1及び特許文献2には、転がり軸受の外輪の外表面を粗面化し、その表面に0.15～0.45mmのセラミックス溶射皮膜を形成している電蝕防止転がり軸受が記載されている。外輪の外表面に、アルミニウム酸化物及びチタン酸化物が含まれたグレイアルミナからなるセラミックス溶射皮膜を所定の薄さで形成した転がり軸受も知られている(特許文献3)。外輪の外表面に、アルミナを主成分とし、酸化チタンの含有量を0.01～0.2重量%としたセラミックス溶射皮膜を形成した転がり軸受が知られている(特許文献4)。この従来技術では、セラミックス溶射皮膜を形成するためのセラミックス粉末の粒径を10～50μmとしている。

【0005】

特許文献5の転がり軸受では、外輪の外表面に、気孔率：2～6%のセラミックス溶射皮膜を形成して、さらに有機系の封孔剤を充填している。特許文献6に記載された転がり軸受では、ハウジングに取り付けられる外輪の表面を、セラミックス製の被覆層とその上の2層の金属層で被覆している。特許文献7には、転がり軸受の外輪の外表面をRaで1.0～3.0μmに粗面化して、粗面化された表面にセラミックス皮膜を形成した転がり軸受が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2011-117607号公報

【特許文献2】特開2007-170673号公報

【特許文献3】特開2009-299904号公報

【特許文献4】特開2007-147072号公報

【特許文献5】特開2008-50669号公報

【特許文献6】特開2002-181054号公報

【特許文献7】特開2008-32127号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

鉄道車両の電動モータ等では、長期に渡って高い絶縁性能を維持しなければならないこ

10

20

30

40

50

とや、多様な使用環境下において場合によっては瞬間的に非常に高電圧になることを想定して転がり軸受に絶縁性能を付与しておく必要がある。しかしながら上記特許文献1～7では、転がり軸受の製造コスト、絶縁抵抗、密着性等を改善できるとされているものの、例えば通常とは異なる高い電圧が負荷された場合、その瞬間の電圧には耐えることはできても、これが長期間に渡って何度も繰り返されると絶縁破壊を起こしかねない。そのため、長期に渡る耐久性が低いといった問題がある。

【0008】

そこで本発明は上記従来技術の問題点に鑑み、耐久性を大幅に向上させることができる電蝕防止用転がり軸受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】

10

【0009】

上記目的を達成するため、次の技術的手段を講じた。即ち本発明の電蝕防止用転がり軸受は、金属製の外輪と、この外輪と複数の転動体を介して同心状に配置されて相対回転自在とされた金属製の内輪とを備え、前記外輪又は前記内輪の外表面に電蝕防止用のセラミックス溶射皮膜がプラズマ溶射法によって形成された電蝕防止用転がり軸受であって、前記セラミックス溶射皮膜の体積抵抗率が $10^6 \text{ cm} \sim 10^{13} \text{ cm}$ であることを特徴とする電蝕防止用転がり軸受である。

【0010】

上記の本発明によれば、セラミックス溶射皮膜の体積抵抗率が $10^6 \text{ cm} \sim 10^{13} \text{ cm}$ とされており、絶縁性能を維持しつつも電流を完全に遮断しないので、非常に大きな電圧が負荷されても局所的な電界集中が生じなくなる。従って、非常に大きな電圧の瞬間的な負荷が長期に渡って繰り返されても絶縁性能が損なわれず、電蝕防止用転がり軸受の損傷が防止される。これにより、耐久性を大幅に向上させることができる。

20

【0011】

前記セラミックス溶射皮膜の膜厚が $50 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ であることが好ましい。この場合、製造コストの低減効果が大きく、また、温度差の大きい使用環境下において転がり軸受の外輪又は内輪との間で生じる剪断応力や、皮膜内部の残留応力の影響による機械的強度の低下が起こり難く、皮膜の剥離や割れ等の損傷を招かないようにすることができる。

【0012】

30

耐久性を向上させるには、前記セラミックス溶射皮膜をアルミニウム酸化物及びチタン酸化物を主成分とする材料で構成し、アルミニウム酸化物の含有率を60重量%～98重量%とし、チタン酸化物の含有率を2重量%～40重量%とすればよい。チタン酸化物の含有率の上限を40重量%とすることで、電流を僅かに流すようにして高い耐久性を確保し、それと同時に溶射の際の成膜効率が高くなり製造コストを低減できる。

【0013】

前記セラミックス溶射皮膜に有機系樹脂による封孔処理が施されていることが好ましく、更に封孔処理後に施される仕上げ処理後の表面粗さ R_a が $1 \mu\text{m}$ 未満であり、かつスキューネス $R_s k$ が0未満であることが好ましい。表層の表面粗さ R_a を $1 \mu\text{m}$ 未満とし、表面の凹凸の目安となるスキューネス $R_s k$ を0未満としているため、表面に突起が少ない。そのため、電流が流れたときに表面上で生じる電界集中の点在を少なくでき、耐久性をさらに向上させることができる。

40

【0014】

前記セラミックス溶射皮膜で被覆されている前記外輪又は前記内輪の外表面の溶射前の表面粗さを $R_a : 0.5 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ とすれば、セラミックス溶射皮膜との高い密着性を得ることができる。

【0015】

前記セラミックス溶射皮膜は、平均粒径： $3 \mu\text{m} \sim 15 \mu\text{m}$ の粉末を原料として形成されていることが好ましい。

【発明の効果】

50

【 0 0 1 6 】

上記の通り本発明によれば、体積抵抗率が $10^6 \text{ cm} \sim 10^{13} \text{ cm}$ のセラミックス溶射皮膜を形成して、絶縁性能を維持しつつも電流を完全に遮断しないようにしたので耐久性を大幅に向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図 1】外輪にセラミックス溶射皮膜を形成した本発明の一実施形態に係る電蝕防止用転がり軸受の断面図である。

【図 2】内輪にセラミックス溶射皮膜を形成した他の実施形態に係る電蝕防止用転がり軸受の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

以下に本発明の実施の形態を説明する。図 1 は本発明の一実施形態に係る電蝕防止用転がり軸受 1 の断面図である。電蝕防止用転がり軸受 1 は、転動体として玉を使った玉軸受であり、リング状の金属製の外輪 2 と、外輪 2 と同心状に配置されて相対回転自在とされたリング状の金属製の内輪 3 と、外輪 2 と内輪 3 間に配置されているリング状の保持器 4 と、保持器 4 に保持されている複数の転動体 5 とで主に構成されている。なお、本発明はこの実施形態に限定されず、他の形状、形式又は他の部材が設けられたあらゆる電蝕防止用転がり軸受に適用される。他の電蝕防止用転がり軸受としては、例えば円錐ころ軸受、円筒ころ軸受等が挙げられる。

【 0 0 1 9 】

外輪 2 の内周には、断面円弧状の外輪側軌道面 2 a が形成され、外輪側軌道面 2 a の両側に、外輪側小径部 2 b 等が形成されている。内輪 3 の外周には、断面円弧状の内輪側軌道面 3 a が形成され、内輪側軌道面 3 a の両側に、内輪側小径部 3 b 等が形成されている。保持器 4 は円周方向に複数のポケット部 4 a を有しており、各ポケット部 4 a に、金属製で球形状の転動体 5 が回転可能に保持されている。外輪 2 に対し内輪 3 が回転すると、外輪側軌道面 2 a および内輪側軌道面 3 a 上を複数の転動体 5 が転動し、転動体 5 は内輪 3 の回転方向と同方向へ移動する。複数の転動体 5 を保持する保持器 4 も転動体 5 と同方向へ移動する。

【 0 0 2 0 】

電蝕防止用転がり軸受 1 は、主に車両の電動モータ、発電機、電気機器の回転軸を支承する転がり軸受に適用され、電動モータ等で生じた電流が外輪 2、転動体 5、内輪 3 を伝って流れる場合に、電蝕防止用転がり軸受 1 に電蝕を生じないようにする転がり軸受である。電蝕防止用転がり軸受 1 を取り付けるための図示しないハウジングに、外輪 2 が接触した状態で固定される。ハウジングへの接触部分である外輪 2 の外表面 2 1 の全体に電蝕防止機能が付与されている。外輪 2 の外表面 2 1 の電気抵抗を高くすることで電蝕防止用転がり軸受 1 にスパークのような局所的な電流が流れにくくなり電蝕を防ぐことができる。

【 0 0 2 1 】

このような電蝕防止のため、外輪 2 の外表面 2 1 にはセラミックス溶射皮膜 1 0 が形成されている。なお、本実施形態ではセラミックス溶射皮膜 1 0 を外輪 2 に形成しているが、図 2 に示すように内輪 3 の外表面 3 1 に同様のセラミックス溶射皮膜を形成してもよい。この場合には、内輪 3 の外表面 3 1 が図示しない回転軸に接触する。溶射皮膜を形成するためのセラミックス材料として、一般に、 Al_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 、 Cr_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 SiO_2 、 Y_2O_3 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$ などが知られている。その中でも、本実施形態のセラミックス溶射皮膜 1 0 を構成するセラミックスとして、アルミニウム酸化物やチタン酸化物等を主成分とする材料を用いることができる。より具体的には、グレイアルミナ (Al_2O_3 、 TiO_2)、アルミナ・イットリア ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Y}_2\text{O}_3$)、アルミナ・マグネシア ($\text{Mg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_4$)、アルミナ・シリカ ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 等を挙げるこ

10

20

30

40

50

とができる。特に、アルミニウム酸化物及びチタン酸化物を主成分とするグレイアルミナが好適である。

【0022】

電蝕防止用のセラミックス溶射皮膜の材料として、絶縁破壊電圧及び体積抵抗率の高いホワイトアルミナ(Al_2O_3)が知られている。上記のグレイアルミナ(Al_2O_3 、 TiO_2)には、導電物質であるチタン酸化物が含有されており、グレイアルミナの体積抵抗率はホワイトアルミナよりも低く、絶縁破壊電圧もホワイトアルミナより小さい。グレイアルミナを選択する大きな理由として、この体積抵抗率の低さによる低絶縁性が挙げられる。また、成膜性をも向上させることができる。チタン酸化物(TiO_2)の融点はホワイトアルミナよりも低い。そのため、アルミニウム酸化物(Al_2O_3)が100%である場合よりも、チタン酸化物(TiO_2)を含有させた方が、金属基材に対して付着し易く、均一な皮膜を形成しやすい。そのため、グレイアルミナを選択した場合の方が歩留まりがよく、製造コストを低減することができる。

10

【0023】

従って、セラミックス溶射皮膜の抵抗を制御するために材料成分やその割合を調整する必要がある。本実施形態ではアルミニウム酸化物及びチタン酸化物を主成分とする材料であるグレイアルミナが最も好適に用いられる。局所的な電流が流れにくくなる配合割合として、セラミックス溶射皮膜中のアルミニウム酸化物の含有率を60重量%~98重量%とし、チタン酸化物の含有率を2重量%~40重量%とする。さらに好ましくは、アルミニウム酸化物の含有率が70重量%~90重量%であり、チタン酸化物の含有率が10重量%~30重量%である。これにより、セラミックス溶射皮膜10の体積抵抗率を $10^6 \text{ cm} \sim 10^{13} \text{ cm}$ に調整している。セラミックス溶射皮膜10のより好ましい体積抵抗率の範囲は $10^8 \text{ cm} \sim 10^{10} \text{ cm}$ である。

20

【0024】

セラミックス溶射皮膜中にチタン酸化物を比較的多く含有させるのは、体積抵抗率を $10^6 \text{ cm} \sim 10^{13} \text{ cm}$ に調整して、あえて低い絶縁性を得るためである。比較的電気抵抗の低いチタン酸化物の含有率を最大で40重量%とすることによって、所要の絶縁性能を維持しつつも電流を完全に遮断しないようにしている。このようにすることで、非常に大きな電圧が負荷されても局所的な電界集中が生じなくなる。従って、非常に大きな電圧の瞬間的な負荷が長期に渡って繰り返されても絶縁性能が損なわれず、電蝕防止用転がり軸受1の損傷が長期に渡って防止される。

30

【0025】

セラミックス溶射皮膜の膜厚を調整することも重要である。本実施形態の膜厚は $50 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ としており、従来よりも極めて薄いセラミックス溶射皮膜を形成している。膜厚のより好ましい範囲は $70 \mu\text{m} \sim 85 \mu\text{m}$ である。外輪2又は内輪3の外表面21、31に形成するセラミックス溶射皮膜10を極めて薄くすることで次のような利点がある。セラミックス溶射皮膜10の成膜工程では、対象とする金属基材の被成膜面の全面にセラミックス粉末をくまなく吹き付ける工程に最も長い時間を要し、当然のことながら膜厚が厚くなるだけ、溶射時間も長くなる。膜厚を本実施系形態の程度まで薄くできれば、従来よりも成膜時間を大幅に短縮でき、製造コストの低減効果が極めて大きい。

40

【0026】

さらに鉄道車両の電動モータ等の温度差が大きい使用環境下では、電蝕防止用転がり軸受1の外輪2又は内輪3と、セラミックス溶射皮膜10との界面に強い剪断応力が生じる場合がある。剪断応力は、外輪2又は内輪3からセラミックス溶射皮膜10を引きはがそうという力となり皮膜の剥離を招く。また、セラミックス溶射皮膜10の内部には成膜時に発生する熱収縮による残留応力が存在し、その残留応力の影響により機械的強度が下がり耐衝撃性の低下を招く場合もある。

【0027】

これらの点に関し、本実施形態のセラミックス溶射皮膜10の膜厚は $50 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ として極めて薄い皮膜となっており剪断応力が小さく、皮膜の剥離が生じ難い。また

50

、成膜時の残留応力も小さいことから機械的強度の低下を招き難い。従って、皮膜の剥離や割れ等の損傷を起こさないようにすることができる。セラミックス溶射皮膜 10 の膜厚の上限を $100\ \mu\text{m}$ とした意義は以上のとおりであり、膜厚の下限を $50\ \mu\text{m}$ としたのは、これよりも薄い膜厚とすると絶縁性能を維持できないからである。なお、セラミックス溶射皮膜 10 の膜厚を制御するには例えば成膜時間を調整すればよい。

【0028】

セラミックス溶射皮膜 10 の表層には気孔を塞ぐための封孔処理が施されている。溶射皮膜は一般にその原理上、気孔を有しており、溶射皮膜が有する気孔の構造によっては、気体や液体が、被覆されている基材まで浸透する場合がある。封孔処理を施さなければ、気孔に例えば水が入り込んで絶縁性能を低下させる。封孔剤は、溶射層の気孔を封孔するばかりでなく、封孔処理後の皮膜の密着力を維持する働きも有する。本実施形態では、セラミックス溶射皮膜 10 の気孔率を 6 % 以下としている。セラミックス溶射皮膜 10 の気孔率を 6 % よりも大きくすると、封孔剤が十分に充填されない場合があり、封孔剤の働きが発揮されなくなる。気孔率の制御はセラミックス粉末の粒度の調整の他、溶射ガンと被処理体である外輪 2 又は内輪 3 の外表面 21、31 との間の距離、溶射雰囲気圧力の調整等によって行うことができる。

【0029】

封孔処理用の有機系樹脂としては、セラミックス溶射皮膜 10 の気孔に侵入できるような流動性のある樹脂であればよい。選択の際には、合成樹脂の平均分子量及び粘度が考慮される。合成樹脂には、例えばビスフェノール F 型エポキシ樹脂、ビスフェノール A 型エポキシ樹脂、ポリグリシジル(メタ)アクリレート等のエポキシ樹脂、アクリル樹脂、フッ素系樹脂、ウレタン樹脂、フェノール樹脂、キシレン樹脂、ポリエステル樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリアミド樹脂、メラミン樹脂など公知の合成樹脂を用いることができる。これらは、単独で又は 2 種以上を混合して用いることができる。

【0030】

セラミックス溶射皮膜 10 は平均粒径が $3\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$ のセラミックス粉末を溶射することによって形成されている。平均粒径が $3\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$ のセラミックス粉末を溶射することで、溶射層の気孔率を 6 % 以下に制御でき、気孔の大きさのばらつきを抑えることができる。本実施形態のように粒径が小さいセラミックス粉末を用いることにより、気孔が小さく、かつ気孔の大きさが均一なセラミックス溶射皮膜 10 が得られる。気孔の大きさを均一にできれば、封孔剤の充填度合を良好にでき、絶縁性能のばらつきを抑える面から有利となる。

【0031】

セラミックス粉末の平均粒径は小さいことが望ましいが、小さすぎると、溶射皮膜を形成する溶射工程でセラミックス粉末の流動性が低下して安定供給できないおそれがある。セラミックス粉末の搬送にむらがあれば、皮膜強度にばらつきが生じやすく、厚みが不均一となり易い。このような観点から、平均粒径が $3\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$ の範囲、より好ましくは $3\ \mu\text{m} \sim 12\ \mu\text{m}$ にあるセラミックス粉末を用いることが好ましい。セラミックス粉末の平均粒径が $15\ \mu\text{m}$ を超えると、完全に溶融しないまま成膜される部分が生じてしまい、過度に多孔質化されて封孔剤の充填が難しくなり、絶縁性能が低下する。

【0032】

セラミックス溶射皮膜 10 に有機系樹脂による封孔処理を施した後、研磨加工等の仕上げ処理を施し、表面粗さ R_a が $1\ \mu\text{m}$ 未満、かつスキューネス R_{sk} が 0 未満となるように表面性状を制御している。

【0033】

セラミックス溶射皮膜 10 の表面性状に関して、JIS B 0660 に規定する表面粗さ R_a と、JIS B 0601 に規定されているスキューネス R_{sk} を指標としている。スキューネス R_{sk} は、基準長さにおける高さ偏差の三乗平均を二乗平均平方根の 3 乗で割った物理量である。スキューネス R_{sk} は表面の凹凸の差異を表現する数学的指標であり、対象となる面の凹凸の対称性を示す目安になる。スキューネス R_{sk} の値は、研磨後に表

10

20

30

40

50

面に残留した少数の突起及び谷の存在に大きく影響される。スキューネス $R_s k$ は、表面に鋭い突起が存在し、表面粗さの凸面積が大きい場合にはプラスの値になり、突起と谷が対称な場合には 0 に近づき、下に鋭く陥没する凹が多く、表面粗さの凹面積が大きい場合にはマイナスの値を示す。従って、表面粗さ R_a を $1 \mu m$ 未満、かつスキューネス $R_s k$ を 0 未満とする電蝕防止用転がり軸受 1 の外輪 2 又は内輪 3 は、鋭い突起が極めて少ない表面性状を有している。

【0034】

表面性状を、溶射時のセラミックス粉末の粒径を調整することによって制御してもよい。セラミックス溶射皮膜 10 は、熱源中にセラミック粉末を供給し、これを加熱して溶融させつつ外輪 2 又は内輪 3 の外表面 21、31 に吹き付け、溶融粒子を堆積させて得られる。セラミック粉末は数万個単位で、連続して熱源中へ供給され、結果的には扁平度の異なる粒子が無秩序に堆積する。研磨加工の他、本実施形態のように平均粒径が $3 \mu m \sim 15 \mu m$ の範囲のセラミック粉末を用いることによって、表面粗さ R_a とスキューネス $R_s k$ が上記の値を示すように制御することができる。さらに有機系樹脂による封孔処理を行うことによって表面粗さ R_a とスキューネス $R_s k$ が容易に上記の値を示すようになる。

10

【0035】

溶射皮膜の表面に突起が多ければ、電蝕防止用転がり軸受 1 に電流が流れようとしたときに、その突起に優先的に電圧がかかり、電界集中の箇所が点在することになる。本実施形態のように表面粗さ R_a が $1 \mu m$ 未満、かつスキューネス $R_s k$ が 0 未満となる表面性状を有する外輪 2 又は内輪 3 とすることで、皮膜表面の鋭く尖った突起が少なくなり、表面上で生じる電界集中の点在を少なくでき、長期に渡る耐久性を向上させることができる。

20

【0036】

セラミックス溶射皮膜 10 は、大気プラズマ溶射法、減圧プラズマ溶射法、高速フレイム溶射法、ガスフレイム溶射法、アーク溶射法、水プラズマ溶射法、電気アーク溶射法、爆発溶射法の何れかによって形成する。これら各種の溶射法を用いることによって、耐久性に優れ、かつ高品質のセラミックス溶射皮膜 10 を得ることができる。各溶射法による成膜条件は、基材、原料粉末、膜厚、製造環境などに応じて適宜設定すればよい。

【0037】

このうちプラズマ溶射法は、電気エネルギーを熱源とする溶射法であり、プラズマの発生源としてアルゴンや水素などを利用して成膜するものである。熱源温度が高く、フレイム速度が速いことから高融点のセラミックス材料を緻密に成膜することが可能であり、セラミックス溶射皮膜 10 の製造方法に適している。

30

【0038】

セラミックス溶射皮膜 10 を得るための工程の一例を挙げると、基材である外輪 2 又は内輪 3 の外表面 21、31 の清浄化処理、外表面 21、31 のブラスト加工による粗面化処理、アンダーコート処理、トップコートであるセラミックス溶射皮膜 10 の溶射、セラミックス溶射皮膜 10 の表層の封孔処理、表面研磨処理をこの順に従って行う。溶射材料の違いによってアンダーコート処理が省かれることや、予熱工程などの他の工程が含まれる場合もある。

40

【0039】

ブラスト加工の前に、外輪 2 又は内輪 3 の外表面 21、31 に付着している油脂、鉄さび等を、脱脂、酸洗、サンドブラスト処理などによって除去する。次いで、清浄化された外輪 2 又は内輪 3 の外表面 21、31 に SiC 粒子や Al_2O_3 粒子等の硬質研削粒子を圧縮空気を駆動源としてブラスト加工を行い、表面粗さ R_a が $0.5 \mu m \sim 2.0 \mu m$ となるように粗面化状態とする。後の溶射時において、溶融状態の微粒子が吹き付けられた際に粗面化された形状に沿って物理的に良好に噛み合うため、以上のように粗面化された外輪 2 又は内輪 3 の外表面 21、31 は溶射皮膜の密着力を上げるのに有効に作用する。アンダーコートは、外輪 2 又は内輪 3 の外表面 21、31 とセラミックス溶射皮膜 10 との密着性を向上させ、皮膜の剥離や割れを防止する。

50

【 0 0 4 0 】

アンダーコートは必ずしも設ける必要はなく、セラミックス粉末を外輪 2 又は内輪 3 に直に溶射して成膜する場合には、セラミックス粉末が完全に溶融できるような溶射条件を採用すればよい。そのためには、セラミックス粉末の平均粒径を本実施形態のように $3\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$ の範囲として、かつプラズマ熱源、及びプラズマ粒子の飛行速度等を適正化すればよい。

【 0 0 4 1 】

以上説明したように電蝕防止用転がり軸受 1 の外輪 2 の外表面 2 1 又は内輪 3 の外表面 3 1 にセラミックス溶射皮膜 1 0 が形成されているため、例えば鉄道車両用の電動モータの回転軸、発電機の回転軸に電圧が生じて、この回転軸を支持する当該転がり軸受 1 は電蝕防止効果を発揮できる。そして、外輪 2 又は内輪 3 の外表面 2 1、3 1 に、例えば 3 kV 程度の高い電圧が長期間に渡って繰り返しかかっても、電蝕防止効果を維持し続けることができる。なお本実施形態では、電蝕防止用転がり軸受 1 の外輪 2 又は内輪 3 にセラミックス溶射皮膜 1 0 を単層構造で設けるものとしたが、異なるセラミックス溶射皮膜を複層とすること、又はセラミックス溶射皮膜の上層に他の金属層を設けてもよい。

10

【 0 0 4 2 】

上記本実施形態の電蝕防止用転がり軸受 1 によれば、セラミックス溶射皮膜 1 0 の体積抵抗率が $10^6\ \text{cm} \sim 10^{13}\ \text{cm}$ とされており、絶縁性能を維持しつつも電流を完全に遮断しないので、非常に大きな電圧が負荷されても局所的な電界集中が生じなくなる。従って、非常に大きな電圧の瞬間的な負荷が長期に渡って繰り返されても絶縁性能が損なわれず、電蝕防止用転がり軸受 1 の損傷が防止される。これにより、耐久性を大幅に向上させることができる。

20

【 実施例 】

【 0 0 4 3 】

以下、実施例により本発明をより詳細に説明する。本発明はこれら実施例に限定されるものではない。上記の実施形態に準じて金属基材の表面に、組成、膜厚、封孔処理、基材表面粗さ、成膜後表面粗さ、及び体積抵抗率を変えた試験片を製作して絶縁破壊性を評価した。絶縁破壊性の評価は絶縁破壊試験を実施し、絶縁破壊の有無を目視で確認して行った。

【 0 0 4 4 】

絶縁破壊試験法は次のとおりである。80 × 80 mm のアルミホイルを試験片の成膜している表面上の中央に置き、アルミホイルと試験片裏面の間に電圧を印加する。0 kV から徐々に電圧を上げ、最大で 3 kV まで印加して絶縁破壊（スパーク）の有無を確認する。耐電圧試験器として菊水電子工業（株）製の TOS - 5101 を用いた。

30

【 0 0 4 5 】

膜厚は、（株）ミットヨ製の標準外側マイクロメータ M100 を用いて測定し、表面粗さは、（株）東京精密サーフコム製の 2800 G を用いて測定した。体積抵抗率の測定方法は次のとおりである。80 × 80 mm のアルミホイルを試験片の成膜している表面上の中央に置き、アルミホイルと試験片裏面の間に電圧を印加する。その電圧をその際に流れた電流で割ることにより抵抗値 R を算出する。体積抵抗率は、面積 S（8 × 8 cm）、膜厚 d（cm）を用いて下記のように表される。体積抵抗率の測定に使用した装置は（株）ムサシインテック社製の直流耐電圧試験器 IP - 701 G である。

40

$$= R \times (S / d) \quad \text{単位: cm}$$

【 0 0 4 6 】

100 × 100 × 10 mm の SS400 製の平板の片面をまずブラスト加工によって粗面化処理し、その後セラミックス溶射を行い、成膜した表層に封孔処理を施し、最後に研磨仕上げを行って試験片を作製した。封孔処理無しの比較例では、セラミックス溶射の後、研磨仕上げを行った。粗面化処理はアルミナグリッドブラスト加工によって行い、封孔処理はエポキシ系封孔剤塗布後、焼成して行い、最後の研磨仕上げは平面研磨機を用いて行った。なお、実際の施工現場では、例えば筒状構造体の曲面等に皮膜を形成する場合が

50

あるのに対して、本実施例では平板状の試験片を用いて評価している。皮膜の体積抵抗率及び絶縁破壊電圧は基材の形状には殆ど影響されず、均一な条件を得やすい平板状の試験片で比較した方がより厳密な評価結果となるからである。

【 0 0 4 7 】

溶射条件は次のとおりである。溶射法：プラズマ溶射法、電流値：600 A、アルゴンガス流量：40 N L P M、水素ガス流量：8 . 5 N L P M、溶射距離：100 mm、ラダースキャン（ガン送り速度：600 mm / s e c、3 mmピッチ）。

【 0 0 4 8 】

各実施例及び比較例の組成（チタニア含有率）、膜厚、封孔処理の有無、基材表面粗さ、成膜後表面粗さ、体積抵抗率及び絶縁破壊試験の結果を表1に示す。表1において、基
材表面粗さとは、平板の片面をブラスト加工によって粗面化処理した後の粗さであり、成
膜後の表面粗さとは、成膜した表層に封孔処理を施し、研磨仕上げを行った後の表面粗さ
である。封孔処理無しの場合では、成膜した表面を研磨仕上げした後の表面粗さである。

【 0 0 4 9 】

【表 1】

	チタニア含有率 (重量%)	膜厚 (μm)	封孔処理	基材表面粗さ R_a (μm)	成膜後表面粗さ R_a (μm)	体積抵抗率 Ωcm	スパーク発生
実施例 1	2.5	80	あり	1.80	0.90	2.5×10^{12}	なし
実施例 2	30	80	あり	1.68	0.90	6.7×10^9	なし
実施例 3	40	80	あり	1.77	0.92	3.0×10^8	なし
実施例 4	13	80	あり	1.88	0.92	5.9×10^{11}	なし
実施例 5	13	100	あり	1.74	0.92	1.4×10^{11}	なし
実施例 6	13	80	あり	0.62	0.90	5.8×10^{11}	なし
実施例 7	13	80	あり	1.87	0.55	9.5×10^{10}	なし
比較例 1	1.5	80	あり	1.78	0.85	1.8×10^{14}	あり
比較例 2	45	80	あり	1.81	0.90	7.3×10^5	あり
比較例 3	50	80	あり	1.69	0.88	2.2×10^5	あり
比較例 4	13	80	なし	1.80	0.93	8.7×10^{11}	あり
比較例 5	13	40	あり	1.84	0.88	8.9×10^{10}	あり
比較例 6	13	—	—	0.32	—	—	—
比較例 7	13	80	あり	2.21	0.89	2.2×10^{11}	あり
比較例 8	13	80	あり	3.58	0.92	2.8×10^9	あり
比較例 9	13	80	あり	1.88	1.17	1.8×10^9	あり

【0050】

実施例 1～実施例 7 では、いずれも絶縁破壊（スパーク）は発生しなかった。比較例 1 では電流の漏れはなかったが抵抗が高すぎてスパークが生じた。比較例 2 及び 3 では抵抗が低すぎてアーキングを生じ、スパークが発生した。封孔処理なしの比較例 4 では大気中の水分を含みやすく、スパークし易い傾向が見られた。比較例 5 では膜厚が薄すぎてスパークが生じた。比較例 6 では密着性が低く成膜中に剥離した。比較例 7 及び 8 では基材の表面粗さが大きすぎてスパークが生じた。電界集中の発生が原因と考えられる。比較例 9 では成膜後の表面粗さが大きすぎてスパークが生じた。この場合も電界集中の発生が原因と考えられる。

【符号の説明】

10

20

30

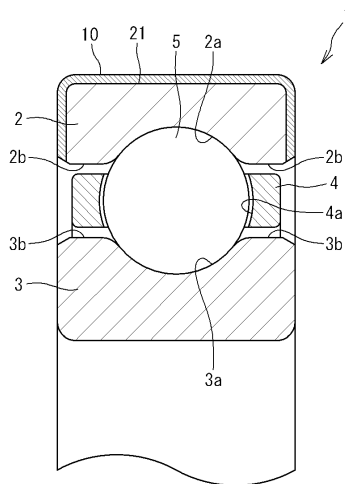
40

50

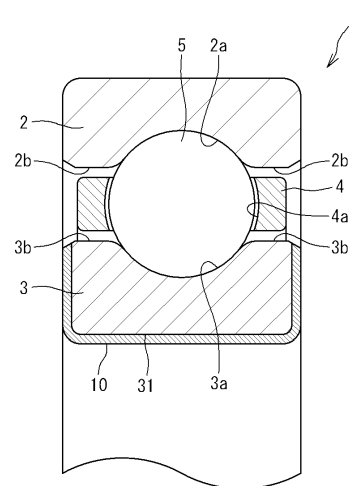
【 0 0 5 1 】

- 1 電蝕防止用転がり軸受
- 2 外輪
- 3 内輪
- 5 転動体
- 2 1 外輪の外表面
- 3 1 内輪の外表面

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
C 2 3 C 4/10 (2016.01) C 2 3 C 4/10

審査官 北中 忠

(56)参考文献 特開2007-198519(JP,A)
特開平01-288618(JP,A)
特開2010-180468(JP,A)
特開2009-299904(JP,A)
特開2008-050669(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F 1 6 C 1 9 / 0 0 - 1 9 / 5 6、3 3 / 3 0 - 3 3 / 6 6