

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7507724号  
(P7507724)

(45)発行日 令和6年6月28日(2024.6.28)

(24)登録日 令和6年6月20日(2024.6.20)

(51)国際特許分類 F I  
 F 1 6 C 33/62 (2006.01) F 1 6 C 33/62  
 F 1 6 C 33/32 (2006.01) F 1 6 C 33/32  
 F 1 6 C 33/34 (2006.01) F 1 6 C 33/34

請求項の数 11 (全23頁)

(21)出願番号	特願2021-77999(P2021-77999)	(73)特許権者	000102692
(22)出願日	令和3年4月30日(2021.4.30)		NTN株式会社
(65)公開番号	特開2022-171393(P2022-171393 A)		大阪府大阪市北区中之島三丁目6番32号
(43)公開日	令和4年11月11日(2022.11.11)	(74)代理人	110001195
審査請求日	令和6年3月26日(2024.3.26)		弁理士法人深見特許事務所
		(72)発明者	山田 悠介
			三重県桑名市大字東方字尾弓田3066 NTN株式会社内
		(72)発明者	上野 正典
			三重県桑名市大字東方字尾弓田3066 NTN株式会社内
		(72)発明者	山田 昌弘
			三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 転がり軸受

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

内輪と、外輪と、転動体とを備え、風力発電機用増速機の構成部材を支持する転がり軸受であって、

前記内輪、前記外輪及び前記転動体の少なくともいずれかは、鋼製であり、かつ表面からの距離が20µmまでの領域である表層部を有し、

前記鋼は、0.70質量パーセント以上1.10質量パーセント以下の炭素と、0.15質量パーセント以上0.35質量パーセント以下のシリコンと、0.30質量パーセント以上0.60質量パーセント以下のマンガンと、1.30質量パーセント以上1.60質量パーセント以下のクロムと、0.50質量パーセント以下のバナジウムと、0.50質量パーセント以下のモリブデンとを含み、かつ残部が鉄及び不可避不純物であり、

前記表層部の前記鋼は、マルテンサイトブロック粒と、析出物とを有し、

前記析出物は、クロム若しくはバナジウムを主成分とする窒化物又はクロム若しくはバナジウムを主成分とする炭窒化物であり、

前記表層部の前記鋼中において、比較面積率が30パーセントでの前記マルテンサイトブロック粒の平均粒径は、2.0µm以下である、転がり軸受。

【請求項2】

前記転がり軸受は、静定格荷重に対する、等価荷重の割合が0.04以下となる条件で使用される、請求項1に記載の転がり軸受。

【請求項3】

前記転がり軸受は、油膜パラメータが 0.5 以上 10 以下となる条件で使用される、請求項 1 または請求項 2 に記載の転がり軸受。

【請求項 4】

前記鋼は、0.90 質量パーセント以上 1.10 質量パーセント以下の炭素と、0.20 質量パーセント以上 0.30 質量パーセント以下のシリコンと、0.40 質量パーセント以上 0.50 質量パーセント以下のマンガンと、1.40 質量パーセント以上 1.60 質量パーセント以下のクロムと、0.20 質量パーセント以上 0.30 質量パーセント以下のバナジウムと、0.10 質量パーセント以上 0.30 質量パーセント以下のモリブデンとを含み、かつ残部が鉄及び不可避不純物である、請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか 1 項に記載の転がり軸受。

10

【請求項 5】

前記表層部の前記鋼中における前記析出物の面積率は、2.0 パーセント以上である、請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の転がり軸受。

【請求項 6】

前記表層部の前記鋼中において、前記析出物の最大粒径は、0.5  $\mu\text{m}$  以下である、請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか 1 項に記載の転がり軸受。

【請求項 7】

前記表層部の前記鋼は、セメントサイトをさらに有し、  
前記表層部の前記鋼中において、前記セメントサイトの最大粒径は、1.5  $\mu\text{m}$  以下である、請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれか 1 項に記載の転がり軸受。

20

【請求項 8】

前記表層部の前記鋼中における窒素濃度は、0.15 質量パーセント以上である、請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれか 1 項に記載の転がり軸受。

【請求項 9】

前記表面からの距離が 50  $\mu\text{m}$  となる位置において、前記鋼中の残留オーステナイトの体積比は、15 パーセント以上である、請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか 1 項に記載の転がり軸受。

【請求項 10】

前記表面からの距離が 50  $\mu\text{m}$  となる位置において、前記鋼の硬さは、58 HRC 以上である、請求項 1 ~ 請求項 9 のいずれか 1 項に記載の転がり軸受。

30

【請求項 11】

前記表面からの距離が 50  $\mu\text{m}$  となる位置において、前記鋼中の残留オーステナイトの体積比は、25 パーセント以上 35 パーセント以下であり、

前記表面からの距離が 50  $\mu\text{m}$  となる位置において、前記鋼の硬さは、58 HRC 以上 64 HRC 以下である、請求項 1 ~ 請求項 10 のいずれか 1 項に記載の転がり軸受。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、転がり軸受に関する。

【背景技術】

40

【0002】

特許文献 1 (特許第 5489111 号公報) には、軸受部品が記載されている。特許文献 1 に記載の軸受部品は、鋼製の加工対象部材に対して、浸窒、焼入れ及び焼戻しを行うことにより形成されている。特許文献 1 に記載の軸受部品では、表層部の鋼中にセメントサイトが分散されているため、高い耐摩耗性を有している。

【0003】

特許文献 2 (特許第 6023422 号公報) には、軸受部品が記載されている。特許文献 2 に記載の軸受部品は、鋼製の加工対象部材に対して、浸窒、焼入れ及び焼戻しを行うことにより形成されている。特許文献 2 に記載の軸受部品では、表層部の鋼中における残留オーステナイト量が大きいため、異物混入潤滑下における圧痕起点型剥離に対する耐久

50

性が高い。

【0004】

特許文献3（特開2007-263357号公報）には、風力発電機用増速機が記載されている。特許文献3に記載の風力発電機用増速機は、遊星歯車装置を備えている。遊星歯車装置では、遊星歯車が軸受を介して遊星軸に回転自在に支持されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第5489111号公報

【文献】特許第6023422号公報

【文献】特開2007-263357号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明者らが鋭意検討したところ、特許文献1に記載の軸受部品及び特許文献2に記載の軸受部品は、耐久性にさらに改善の余地がある。特に、特許文献1に記載の軸受部品及び特許文献2に記載の軸受部品を用いた転がり軸受を、特許文献3に記載の風力発電機用増速機に適用した場合の耐久性に改善の余地がある。具体的には、風力発電機用増速機に使用される転がり軸受には、20年以上の設計寿命が要求される。そこで、当該転がり軸受としては、負荷容量を大きくするため転動体サイズの大きな軸受が用いられる。一方、風力発電機では気象条件によって発電トルクが変動し、転がり軸受に負荷される荷重も変動する。このとき、転がり軸受に負荷される当該荷重が、転動体が転がるために必要な必要最小限荷重に満たない場合が発生する。このとき、転がり軸受において転動体と軌道面との間に滑りが発生する場合がある。当該滑りにより、転動体と軌道面との間に油膜切れが生じ、金属接触が発生する場合がある。この結果、転動体または軌道面には新生面が発生する。このような新生面から転動体などを構成する鋼材の内部に水素が侵入すると、水素脆性に起因した早期剥離が生じやすい。

【0007】

また、当用途では、主として、増速機において、遊星歯車を支持する円筒ころ軸受、出力軸を支持する円筒ころ軸受が用いられる。遊星歯車を支持する円筒ころ軸受においては、変形し転動体のスキューや片当たりにより比較的滑りが発生しやすい場合がある。また、高速回転する出力軸を支持する円筒ころ軸受においては、高速回転で使用されることから、回転速度やトルク変動（軸受荷重）に追従できず、軸受の転動体と軌道面との間で滑りが発生し摩耗が促進され水素脆性剥離が生じやすい条件となる場合がある。

【0008】

風力発電の場合、風の状況によっては、長い間、回転せずに停止している場合もある。その場合、軸受への給油が停止し、軸受中に潤滑油が殆どない状態になってしまっている。このような、長時間停止状態にあって潤滑油が殆どない状態となっている軸受が、風の状況の変化によって突然に回転することになる。そのため潤滑不良により、金属接触が発生し、水素脆性が発生しやすい状況になることもある。

【0009】

上述の軌道面と転動体の滑りや潤滑状態によって生じる水素脆性は剥離は、風力発電設備、機器、それらに使用する軸受の設計段階で予知することが極めて困難であり、また軸受などの構造面での対策も難しい。一方で、耐水素脆性を改善し、風力発電設備の信頼性を向上させたいニーズもあり、軸受に表面処理を施して対応する場合がある。

【0010】

本発明は、風力発電機用増速機に用いられる転がり軸受において、水素脆性に対する耐久性を改善するものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

10

20

30

40

50

本発明の転がり軸受は、内輪と、外輪と、転動体とを備える。転がり軸受は、風力発電機用増速機の構成部材を支持する。内輪、外輪及び転動体の少なくともいずれかは、鋼製であり、かつ、表面からの距離が $20\ \mu\text{m}$ までの領域である表層部を有している。鋼は、 $0.70$ 質量パーセント以上 $1.10$ 質量パーセント以下の炭素と、 $0.15$ 質量パーセント以上 $0.35$ 質量パーセント以下のシリコンと、 $0.30$ 質量パーセント以上 $0.60$ 質量パーセント以下のマンガンと、 $1.30$ 質量パーセント以上 $1.60$ 質量パーセント以下のクロムと、 $0.50$ 質量パーセント以下のバナジウムと、 $0.50$ 質量パーセント以下のモリブデンとを含み、かつ残部が鉄及び不可避免不純物である。表層部の鋼は、マルテンサイトブロック粒と、析出物とを有する。析出物は、クロム若しくはバナジウムを主成分とする窒化物又はクロム若しくはバナジウムを主成分とする炭窒化物である。表層部の鋼中において、比較面積率が $30$ パーセントでのマルテンサイトブロック粒の平均粒径は、 $2.0\ \mu\text{m}$ 以下である。

10

## 【0012】

上記転がり軸受は、静定格荷重に対する、等価荷重の割合が $0.04\%$ 以下となる条件で使用されてもよい。上記転がり軸受は、油膜パラメータが $0.5$ 以上 $10$ 以下となる条件で使用されてもよい。

## 【0013】

上記転がり軸受は、円錐ころ軸受、自動調心ころ軸受、深溝玉軸受、四点接触玉軸受などを含む玉軸受など、各種の転がり軸受であってもよい。上記転がり軸受では、表面には浸窒処理が行われていてもよい。

20

## 【0014】

上記転がり軸受では、鋼が、 $0.90$ 質量パーセント以上 $1.10$ 質量パーセント以下の炭素と、 $0.20$ 質量パーセント以上 $0.30$ 質量パーセント以下のシリコンと、 $0.40$ 質量パーセント以上 $0.50$ 質量パーセント以下のマンガンと、 $1.40$ 質量パーセント以上 $1.60$ 質量パーセント以下のクロムと、 $0.20$ 質量パーセント以上 $0.30$ 質量パーセント以下のバナジウムと、 $0.10$ 質量パーセント以上 $0.30$ 質量パーセント以下のモリブデンとを含み、かつ残部が鉄及び不可避免不純物であってもよい。

## 【0015】

上記転がり軸受では、表層部の鋼中における析出物の面積率が、 $2.0$ パーセント以上であってもよい。

30

## 【0016】

上記転がり軸受では、表層部の鋼中において、析出物の最大粒径が、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。

## 【0017】

上記転がり軸受では、表層部の鋼が、セメンタイトをさらに有していてもよい。表層部の鋼中において、セメンタイトの最大粒径は、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。

## 【0018】

上記転がり軸受では、表層部の鋼中における窒素濃度が、 $0.15$ 質量パーセント以上であってもよい。

## 【0019】

上記転がり軸受では、表面からの距離が $50\ \mu\text{m}$ となる位置において、鋼中の残留オーステナイトの体積比が、 $15$ パーセント以上であってもよい。

40

## 【0020】

上記転がり軸受では、表面からの距離が $50\ \mu\text{m}$ となる位置において、鋼の硬さが、 $58\ \text{HRC}$ 以上であってもよい。

## 【0021】

上記転がり軸受では、表面からの距離が $50\ \mu\text{m}$ となる位置において、鋼中の残留オーステナイトの体積比が、 $25$ パーセント以上 $35$ パーセント以下であってもよい。表面からの距離が $50\ \mu\text{m}$ となる位置において、鋼の硬さが、 $58\ \text{HRC}$ 以上 $64\ \text{HRC}$ 以下であってもよい。

50

## 【発明の効果】

## 【0022】

本発明の転がり軸受によると、風力発電機用増速機に用いられる転がり軸受において、水素脆性に対する耐久性を改善することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0023】

【図1】内輪10の断面図である。

【図2】図1中のI Iにおける拡大図である。

【図3】内輪10の製造方法を示す工程図である。

【図4】転がり軸受100の断面図である。

10

【図5】転がり軸受100Aの断面図である。

【図6】風力発電機用増速機300の断面図である。

【図7】サンプル1の軌道盤の軌道面近傍における窒素濃度及び炭素濃度の測定結果を示すグラフである。

【図8】サンプル2の軌道盤の軌道面近傍における窒素濃度及び炭素濃度の測定結果を示すグラフである。

【図9】サンプル1の軌道盤の表層部におけるSEM画像である。

【図10】サンプル2の軌道盤の表層部におけるSEM画像である。

【図11】サンプル1の軌道盤の表層部におけるEBSDの相マップである。

【図12】サンプル2の軌道盤の表層部におけるEBSDの相マップである。

20

【図13】サンプル3の軌道盤の表層部におけるEBSDの相マップである。

【図14】サンプル1～サンプル3の軌道盤の表層部におけるマルテンサイトブロック粒の平均粒径を示す棒グラフである。

【図15】転動疲労寿命試験の結果を示すグラフである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0024】

本発明の実施形態の詳細を、図面を参照しながら説明する。ここでは、同一又は相当する部分に同一の参照符号を付し、重複する説明は繰り返さないものとする。

## 【0025】

実施形態に係る軸受部品は、例えば、転がり軸受の内輪10である。以下においては、内輪10を実施形態に係る軸受部品の例として説明する。但し、実施形態に係る軸受部品は、これに限られない。実施形態に係る軸受部品は、転がり軸受の外輪又は転がり軸受の転動体であってもよい。

30

## 【0026】

(内輪10の構成)

図1は、内輪10の断面図である。図1に示されるように、内輪10は、リング状である。内輪10の中心軸を、中心軸Aとする。内輪10は、幅面10aと、幅面10bと、内周面10cと、外周面10dとを有している。幅面10a、幅面10b、内周面10c及び外周面10dは、内輪10の表面を構成している。

## 【0027】

40

以下においては、中心軸Aの方向を、軸方向とする。また、以下においては、軸方向に沿って見た際に中心軸Aを中心とする円周に沿う方向を、周方向とする。さらに、以下においては、軸方向に直交する方向を、径方向とする。

## 【0028】

幅面10a及び幅面10bは、軸方向における内輪10の端面である。幅面10bは、軸方向における幅面10aの反対面である。

## 【0029】

内周面10cは、周方向に延在している。内周面10cは、中心軸A側を向いている。内周面10cは、軸方向における一方端で幅面10aに連なっており、軸方向における他方端で幅面10bに連なっている。内輪10は、内周面10cにおいて、軸(図示せず)

50

に嵌め合わされる。

【0030】

外周面10dは、周方向に延在している。外周面10dは、中心軸Aとは反対側を向いている。すなわち、外周面10dは、径方向における内周面10cの反対面である。外周面10dは、軸方向における一方端で幅面10aに連なっており、軸方向における他方端で幅面10bに連なっている。

【0031】

外周面10dは、軌道面10daを有している。軌道面10daは、周方向に延在している。外周面10dは、軌道面10daにおいて、内周面10c側に窪んでいる。断面視において、軌道面10daは、部分円形状である。軌道面10daは、軸方向において外周面10dの中央にある。軌道面10daは、転動体(図1中において図示せず)に接触する外周面10dの一部である。

10

【0032】

内輪10は、鋼製である。より具体的には、内輪10は、焼入れ及び焼戻しが行われている鋼製である。内輪10を構成している鋼は、0.70質量パーセント以上1.10質量パーセント以下の炭素、0.15質量パーセント以上0.35質量パーセント以下のシリコン、0.30質量パーセント以上0.60質量パーセント以下のマンガン、1.30質量パーセント以上1.60質量パーセント以下のクロム、0.50質量パーセント以下のバナジウム及び0.50質量パーセント以下のモリブデンを含んでいる。なお、この鋼では、モリブデンの含有量は0.01質量パーセント以上であり、バナジウムの含有量は0.01質量パーセント以上である。

20

【0033】

内輪10を構成している鋼中の炭素が0.70質量パーセント以上であるのは、硬さを改善するためである。内輪10を構成している鋼中の炭素が1.10質量パーセント以下であるのは、焼割れを抑制するためである。

【0034】

内輪10を構成している鋼中のシリコンが0.15質量パーセント以上であるのは、焼戻し軟化抵抗を高めるため及び加工性を改善するためである。内輪10を構成している鋼中のシリコンが0.35質量パーセント以下であるのは、シリコン量が過剰となると加工性がかえって低下するためである。

30

【0035】

内輪10を構成している鋼中のマンガンを0.30質量パーセント以上であるのは、焼入れ性確保のためである。内輪10を構成している鋼中のマンガンを0.60質量パーセント以下であるのは、マンガン量が過剰となると鋼中にマンガン系の非金属介在物が増加するためである。

【0036】

内輪10を構成している鋼中のクロムが1.30質量パーセント以上であるのは、焼入れ性を確保するため並びに窒化物及び炭窒化物を形成させるためである。内輪10を構成している鋼中のクロムが1.60質量パーセント以下であるのは、粗大な析出物が形成されることを抑制するためである。

40

【0037】

内輪10を構成している鋼中にバナジウムが含まれているのは、窒化物及び炭窒化物を微細化するためである。内輪10を構成している鋼中のバナジウムが0.50質量パーセント以下であるのは、バナジウム添加に伴うコスト増大を抑制するためである。

【0038】

内輪10を構成している鋼中にモリブデンが含まれているのは、窒化物及び炭窒化物を微細化するため並びに焼入れ性の改善のためである。内輪10を構成している鋼中のモリブデンが0.50質量パーセント以下であるのは、モリブデン添加に伴うコスト増大を抑制するためである。

【0039】

50

内輪 10 を構成している鋼は、0.90 質量パーセント以上 1.10 質量パーセント以下の炭素、0.20 質量パーセント以上 0.30 質量パーセント以下のシリコン、0.40 質量パーセント以上 0.50 質量パーセント以下のマンガン、1.40 質量パーセント以上 1.60 質量パーセント以下のクロム、0.20 質量パーセント以上 0.30 質量パーセント以下のバナジウム、0.10 質量パーセント以上 0.30 質量パーセント以下のモリブデンを含んでいてもよい。なお、内輪 10 を構成している鋼の残部は、鉄及び不可避不純物である。

#### 【0040】

図 2 は、図 1 中の I I における拡大図である。図 2 に示されるように、内輪 10 では、表面からの距離が 20  $\mu\text{m}$  までの領域が、表層部 11 になっている。内輪 10 の表面に対しては、例えば、浸室処理が行われている。その結果、表層部 11 の鋼中における窒素濃度は、例えば、0.15 質量パーセント以上になっている。表層部 11 の鋼中における窒素濃度は、0.20 質量パーセント以上 0.30 質量パーセント以下であることが好ましい。表層部 11 の鋼中における窒素濃度は、E P M A (Electron Probe Micro Analyzer) を用いて測定される。

10

#### 【0041】

表層部 11 の鋼中には、析出物が分散している。析出物は、クロム若しくはバナジウムを主成分とする窒化物又はクロム若しくはバナジウムを主成分とする炭窒化物である。

#### 【0042】

クロム (バナジウム) を主成分とする窒化物は、クロム (バナジウム) の窒化物又は当該窒化物中のクロム (バナジウム) のサイトの一部がクロム (バナジウム) 以外の合金元素により置換されているものである。

20

#### 【0043】

クロム (バナジウム) を主成分とする炭窒化物は、クロム (バナジウム) の炭化物中の炭素のサイトの一部が窒素により置換されているものである。クロム (バナジウム) を主成分とする炭窒化物のクロム (バナジウム) のサイトは、クロム (バナジウム) 以外の合金元素により置換されていてもよい。

#### 【0044】

表層部 11 の鋼中において、析出物の面積率は、2.0 パーセント以下であることが好ましい。表層部 11 の鋼中において、析出物の最大粒径は、0.5  $\mu\text{m}$  以下であることが好ましい。

30

#### 【0045】

表層部 11 の鋼中における析出物の面積率及び最大粒径は、以下の方法により測定される。第 1 に、表層部 11 を含む内輪 10 の断面において、S E M (Scanning Electron Microscope) を用いて断面画像 (以下「S E M 画像」とする) が取得される。この S E M 画像を取得する際の倍率は、15000 倍とされる。

#### 【0046】

第 2 に、取得された S E M 画像に対して、画像処理が行われる。より具体的には、S E M 画像中において析出物は白色に見えるため、S E M 画像中において白色になっている部分の各々の面積及び合計の面積を、画像処理により算出する。

40

#### 【0047】

S E M 画像中において白色になっている部分の合計面積は、表層部 11 の鋼中における析出物の面積率と見做される。S E M 画像中において白色になっている各々の部分の面積の最大値を  $\sqrt{}$  で除した値の平方根が、表層部 11 の鋼中における析出物の最大粒径と見做される。

#### 【0048】

表層部 11 の鋼中には、セメントイト ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) がさらに分散していてもよい。セメントイト中の鉄のサイトの一部は合金元素により置換されていてもよく、セメントイト中の炭素のサイトの一部は窒素により置換されていてもよい。表層部 11 の鋼中におけるセメントイトの最大粒径は、1.5  $\mu\text{m}$  以下であることが好ましい。

50

## 【 0 0 4 9 】

表層部 1 1 の鋼中におけるセメントタイトの最大粒径は、以下の方法により測定される。第 1 に、表層部 1 1 を含む内輪 1 0 の断面において、SEM 画像が取得される。この SEM 画像を取得する際の倍率は、1 5 0 0 0 倍とされる。第 2 に、取得された SEM 画像に対して、画像処理が行われる。より具体的には、SEM 画像中においてセメントタイトは楕円状の灰色に見えるため、SEM 画像中において楕円状の灰色になっている部分の各々の面積を、画像処理により算出する。そして、SEM 画像中において楕円状の灰色になっている各々の部分の面積の最大値を  $\sqrt{}$  4 で除した値の平方根が、表層部 1 1 の鋼中におけるセメントタイトの最大粒径と見做される。

## 【 0 0 5 0 】

内輪 1 0 の表面からの距離が 5 0  $\mu\text{m}$  となる位置において、鋼中の残留オーステナイトの体積比は、1 5 パーセント以上であることが好ましい。内輪 1 0 の表面からの距離が 5 0  $\mu\text{m}$  となる位置において、鋼中の残留オーステナイトの体積比は、2 5 パーセント以上 3 5 パーセント以下であることがさらに好ましい。

## 【 0 0 5 1 】

鋼中の残留オーステナイトの体積比は、X 線回折法により測定される。すなわち、オーステナイトの X 線回折における回折ピークの積分強度とオーステナイト以外の相の X 線回折における回折ピークの積分強度とを比較することにより、鋼中の残留オーステナイトの体積比が算出される。

## 【 0 0 5 2 】

内輪 1 0 の表面からの距離が 5 0  $\mu\text{m}$  となる位置において、鋼の硬さは、5 8 HRC 以上であることが好ましい。内輪 1 0 の表面からの距離が 5 0  $\mu\text{m}$  となる位置において、鋼の硬さは、5 8 HRC 以上 6 4 HRC 以下であることがさらに好ましい。鋼の硬さは、JIS 規格 ( JIS Z 2 2 4 5 : 2 0 1 6 ) に定められたロックウェル硬さ試験法にしたがって測定される。

## 【 0 0 5 3 】

表層部 1 1 の鋼は、マルテンサイトブロック粒を有している。隣り合う 2 つのマルテンサイトブロック粒は、粒界において、結晶方位の差が 1 5 ° 以上になっている。このことを別の観点から言えば、結晶方位にずれがある箇所が存在していても、結晶方位の差が 1 5 ° 未満である場合、当該箇所は、マルテンサイトブロック粒の結晶粒界とは見做されない。マルテンサイトブロック粒の粒界は、EBSD ( Electron Back Scattered Diffraction ) 法により決定される。

## 【 0 0 5 4 】

表層部 1 1 の鋼中において、比較面積率が 3 0 パーセントでのマルテンサイトブロック粒の平均粒径は、2 . 0  $\mu\text{m}$  以下である。表層部 1 1 の鋼中において、比較面積率が 5 0 パーセントでのマルテンサイトブロック粒の平均粒径は、1 . 5  $\mu\text{m}$  以下であることが好ましい。

## 【 0 0 5 5 】

比較面積率が 3 0 パーセント ( 5 0 パーセント ) でのマルテンサイトブロック粒の平均粒径は、以下の方法により測定される。第 1 に、表層部 1 1 を含む内輪 1 0 の断面において、断面観察が行われる。この際、EBSD 法により、観察視野に含まれているマルテンサイトブロック粒が特定される。この観察視野は、5 0  $\mu\text{m}$   $\times$  4 5  $\mu\text{m}$  の領域とされる。第 2 に、EBSD 法により得られた結晶方位データから、観察視野に含まれているマルテンサイトブロック粒の各々の面積が解析される。

## 【 0 0 5 6 】

第 3 に、観察視野に含まれているマルテンサイトブロック粒の各々の面積を、面積が大きいものから順に加算していく。この加算は、観察視野に含まれているマルテンサイトブロック粒の合計面積の 3 0 パーセント ( 5 0 パーセント ) に達するまで行われる。上記の加算の対象になったマルテンサイトブロック粒の各々について、円相当径が算出される。この円相当径は、マルテンサイトブロック粒の面積を  $\sqrt{}$  4 で除した値の平方根である。

10

20

30

40

50

上記の加算の対象になったマルテンサイトブロック粒の円相当径の平均値が、比較面積率が30パーセント(50パーセント)でのマルテンサイトブロック粒の平均粒径と見做される。

**【0057】**

(内輪10の製造方法)

図3は、内輪10の製造方法を示す工程図である。図3に示されるように、内輪10の製造方法は、準備工程S1と、浸室工程S2と、焼入れ工程S3と、焼戻し工程S4と、後処理工程S5とを有している。浸室工程S2は、準備工程S1の後に行われる。焼入れ工程S3は、浸室工程S2の後に行われる。焼戻し工程S4は、焼入れ工程S3の後に行われる。後処理工程S5は、焼戻し工程S4の後に行われる。

10

**【0058】**

準備工程S1では、加工対象部材が準備される。加工対象部材は、内輪10と同じ鋼で形成されているリング状の部材である。

**【0059】**

浸室工程S2では、加工対象部材の表面に対して、浸室処理が行われる。浸室処理は、加工対象部材を、窒素源(例えば、アンモニア)を含む雰囲気中において、加工対象部材を構成している鋼の $A_1$ 変態点以上の温度で保持することにより行われる。

**【0060】**

焼入れ工程S3では、加工対象部材に対して、焼入れが行われる。焼入れは、加工対象部材を、加工対象部材を構成している鋼の $A_1$ 変態点以上の温度で保持し、その後加工対象部材を構成している鋼の $M_s$ 変態点以下の温度まで急冷することにより行われる。焼入れ工程S3における加熱保持の温度は、浸室工程S2における加熱保持の温度以下であることが好ましい。焼入れ工程S3は、2回行われてもよい。2回目の焼入れ工程S3における加熱保持温度は、1回目の焼入れ工程S3における加熱保持温度よりも低いことが好ましい。これにより、加工対象部材の表層部に、析出物が微細かつ多量に分散される。

20

**【0061】**

焼戻し工程S4では、加工対象部材に対する焼戻しが行われる。焼戻しは、加工対象部材を、加工対象部材を構成している鋼の $A_1$ 変態点未満の温度で保持することにより行われる。後処理工程S5では、加工対象部材の表面に対する機械加工(研削、研磨)及び洗浄等が行われる。以上により、図1及び図2に示される構造の内輪10が形成される。

30

**【0062】**

なお、表層部11の鋼中に析出物が微細かつ多量に分散されることにより、マルテンサイトブロック粒が大きくなりにくくなるため、表層部11の鋼中において、比較面積率30パーセントでのマルテンサイトブロック粒の平均粒径が、 $2.0\mu\text{m}$ 以下になる。

**【0063】**

(内輪10の効果)

内輪10では、表層部11の鋼中において、比較面積率30パーセントでの平均粒径が $2.0\mu\text{m}$ 以下となるようにマルテンサイトブロック粒が微細化されている。その結果、内輪10では、表層部11が高靱性化により、転動体と接触する内輪10の表面(具体的には、軌道面10da)の剪断抵抗が改善されている。このように、内輪10によると、耐久性が改善されている。

40

**【0064】**

表層部11の鋼中における析出物の面積率が2.0パーセント以上になっている場合、すなわち、表層部11の鋼中に析出物が高密度で分散している場合、転動体と接触する内輪10の表面(具体的には、軌道面10da)の剪断抵抗が改善されることにより、耐久性がさらに改善される。

**【0065】**

表層部11の鋼中における析出物の最大粒径が $0.5\mu\text{m}$ である場合、表層部11の鋼中に析出物が高密度かつ微細に分散しているため、耐摩耗性及び靱性が改善されることになり、内輪10の耐久性がさらに改善される。表層部11の鋼中におけるセメントタイトの

50

最大粒径が $1.5\ \mu\text{m}$ 以下である場合、セメントタイトの微細な分散により、内輪10の耐摩耗性及び靱性がさらに改善される。

【0066】

内輪10の表面からの距離が $50\ \mu\text{m}$ となる位置における鋼中の残留オーステナイトの体積比が15パーセント以上(25パーセント以上35パーセント以下)である場合、異物混入環境下での圧痕起点型剥離に対する耐久性が改善される。内輪10の表面からの距離が $50\ \mu\text{m}$ となる位置における鋼の硬さが58HRC以上(58HRC以上64HRC以下)である場合、内輪10の耐摩耗性がさらに改善される。

【0067】

(実施形態に係る転がり軸受)

以下に、実施形態に係る転がり軸受(「転がり軸受100」とする)を説明する。

【0068】

図4は、転がり軸受100の断面図である。図4に示されるように、転がり軸受100は、深溝玉軸受である。但し、転がり軸受100は、これに限られない。転がり軸受100は、例えば、スラスト玉軸受であってもよい。転がり軸受100は、内輪10と、外輪20と、転動体30と、保持器40とを有している。

【0069】

外輪20は、幅面20aと、幅面20bと、内周面20cと、外周面20dとを有している。外輪20の表面は、幅面20a、幅面20b、内周面20c及び外周面20dにより構成されている。

【0070】

幅面20a及び幅面20bは、軸方向における外輪20の端面である。幅面20bは、軸方向における幅面20aの反対面である。

【0071】

内周面20cは、周方向に延在している。内周面20cは、中心軸A側を向いている。内周面20cは、軸方向における一方端で幅面20aに連なっており、軸方向における他方端で幅面20bに連なっている。外輪20は、内周面20cが外周面10dと対向するように配置されている。

【0072】

内周面20cは、軌道面20caを有している。軌道面20caは、周方向に延在している。内周面20cは、軌道面20caにおいて、外周面20d側に窪んでいる。断面視において、軌道面20caは、部分円形状である。軌道面20caは、軸方向において内周面20cの中央にある。軌道面20caは、転動体30に接触する内周面20cの一部である。

【0073】

外周面20dは、周方向に延在している。外周面20dは、中心軸Aとは反対側を向いている。すなわち、外周面20dは、径方向における内周面20cの反対面である。外周面20dは、軸方向における一方端で幅面20aに連なっており、軸方向における他方端で幅面20bに連なっている。外輪20は、外周面20dにおいて、ハウジング(図示せず)に嵌め合わされる。

【0074】

転動体30は、球状である。転動体30は、外周面10d(軌道面10da)と内周面20c(軌道面20ca)との間に配置されている。保持器40は、リング状であり、外周面10dと内周面20cとの間に配置されている。保持器40は、周方向において隣り合う2つの転動体30の間隔が一定範囲内となるように、転動体30を保持している。

【0075】

外輪20及び転動体30は、内輪10と同一の鋼で形成されていてもよい。また、外輪20の表層部(外輪20の表面からの距離が $20\ \mu\text{m}$ までの領域)及び転動体30の表層部(転動体30の表面からの距離が $20\ \mu\text{m}$ までの領域)は、表層部11と同一の構成になってもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 6 】

( 変形例 )

以下に、変形例に係る転がり軸受 1 0 0 ( 以下「転がり軸受 1 0 0 A」とする ) を説明する。

## 【 0 0 7 7 】

図 5 は、転がり軸受 1 0 0 A の断面図である。図 5 に示されるように、転がり軸受 1 0 0 A は、円筒ころ軸受である。なお、転がり軸受 1 0 0 A は、内輪 1 1 0 と、外輪 1 2 0 と、転動体 1 3 0 とを有している。

## 【 0 0 7 8 】

内輪 1 1 0 は、幅面 1 1 0 a と、幅面 1 1 0 b と、内周面 1 1 0 c と、外周面 1 1 0 d とを有している。幅面 1 1 0 a、幅面 1 1 0 b、内周面 1 1 0 c 及び外周面 1 1 0 d は、内輪 1 1 0 の表面を構成している。

10

## 【 0 0 7 9 】

幅面 1 1 0 a 及び幅面 1 1 0 b は、軸方向における内輪 1 1 0 の端面である。幅面 1 1 0 b は、軸方向における幅面 1 1 0 a の反対面である。

## 【 0 0 8 0 】

内周面 1 1 0 c は、周方向に延在している。内周面 1 1 0 c は、中心軸 A 側を向いている。内周面 1 1 0 c は、軸方向における一方端で幅面 1 1 0 a に連なっており、軸方向における他方端で幅面 1 1 0 b に連なっている。

## 【 0 0 8 1 】

外周面 1 1 0 d は、周方向に延在している。外周面 1 1 0 d は、中心軸 A とは反対側を向いている。すなわち、外周面 1 1 0 d は、径方向における内周面 1 1 0 c の反対面である。外周面 1 1 0 d は、軸方向における一方端で幅面 1 1 0 a に連なっており、軸方向における他方端で幅面 1 1 0 b に連なっている。外周面 1 1 0 d は、軌道面 1 1 0 d a を有している。軌道面 1 1 0 d a は、周方向に延在している。軌道面 1 1 0 d a は、転動体 1 3 0 に接触する外周面 1 1 0 d の一部である。

20

## 【 0 0 8 2 】

外輪 1 2 0 は、幅面 1 2 0 a と、幅面 1 2 0 b と、内周面 1 2 0 c と、外周面 1 2 0 d とを有している。外輪 1 2 0 の表面は、幅面 1 2 0 a、幅面 1 2 0 b、内周面 1 2 0 c 及び外周面 1 2 0 d により構成されている。

30

## 【 0 0 8 3 】

幅面 1 2 0 a 及び幅面 1 2 0 b は、軸方向における外輪 1 2 0 の端面である。幅面 1 2 0 b は、軸方向における幅面 1 2 0 a の反対面である。

## 【 0 0 8 4 】

内周面 1 2 0 c は、周方向に延在している。内周面 1 2 0 c は、中心軸 A 側を向いている。内周面 1 2 0 c は、軸方向における一方端で幅面 1 2 0 a に連なっており、軸方向における他方端で幅面 1 2 0 b に連なっている。外輪 1 2 0 は、内周面 1 2 0 c が外周面 1 1 0 d と対向するように配置されている。内周面 1 2 0 c は、軌道面 1 2 0 c a を有している。軌道面 1 2 0 c a は、周方向に延在している。軌道面 1 2 0 c a は、転動体 1 3 0 に接触する内周面 1 2 0 c の一部である。

40

## 【 0 0 8 5 】

外周面 1 2 0 d は、周方向に延在している。外周面 1 2 0 d は、中心軸 A とは反対側を向いている。すなわち、外周面 1 2 0 d は、径方向における内周面 1 2 0 c の反対面である。外周面 1 2 0 d は、軸方向における一方端で幅面 1 2 0 a に連なっており、軸方向における他方端で幅面 1 2 0 b に連なっている。

## 【 0 0 8 6 】

転動体 1 3 0 は、円筒ころである。転動体 1 3 0 は、外周面 1 1 0 d ( 軌道面 1 1 0 d a ) と内周面 1 2 0 c ( 軌道面 1 2 0 c a ) との間に配置されている。転動体 1 3 0 の外周面は、軌道面 1 1 0 d a 及び軌道面 1 2 0 c a に接触する転動面 1 3 0 a である。

## 【 0 0 8 7 】

50

内輪 110、外輪 120 及び転動体 130 は、内輪 10 と同一の鋼で形成されていてもよい。内輪 110 の表層部（内輪 110 の表面からの距離が 20  $\mu\text{m}$  までの領域）、外輪 120 の表層部（外輪 120 の表面からの距離が 20  $\mu\text{m}$  までの領域）及び転動体 130 の表層部（転動体 130 の表面からの距離が 20  $\mu\text{m}$  までの領域）は、表層部 11 と同一の構成になっていてもよい。

#### 【0088】

油膜パラメータは、たとえば  $h_0 / \{ 1.1 \times (R_{a1}^2 + R_{a2}^2) \}^{1/2}$  との式により算出される。なお、転動面 130a と軌道面 110da（軌道面 120ca）との間の油膜厚さを  $h_0$ 、転動面 130a の算術平均粗さを  $R_{a1}$ 、軌道面 110da（軌道面 120ca）の算術平均粗さを  $R_{a2}$  とする。当該油膜パラメータが 0.5 以上 1.0 以下である場合においても、油膜切れが生じやすくなる可能性がある。

10

#### 【0089】

転がり軸受 100A は、例えば、風力発電機用増速機 300 に用いられる。図 6 は、風力発電機用増速機 300 の断面図である。図 6 に示されるように、風力発電機用増速機 300 は、遊星歯車装置 303 と、2 次増速装置 305 と、ケーシング 306 とを主に備える。遊星歯車装置 303 は、入力軸 301 の回転を増速して低速軸 302 に伝達する。2 次増速装置 305 は、低速軸 302 の回転をさらに増速して出力軸 304 に伝達する。遊星歯車装置 303 および 2 次増速装置 305 は、共通のケーシング 306 内に設けられている。入力軸 301 は風車（図示せず）の主軸（図示せず）等に接続される。出力軸 304 は発電機（図示せず）に接続される。

20

#### 【0090】

遊星歯車装置 303 では、旋回自在なキャリア 307 の周方向複数箇所に遊星軸 310 が設けられる。各遊星軸 310 に構成部材としての遊星歯車 308 が転がり軸受 309 を介して回転自在に支持されている。転がり軸受 309 は図 5 に示した本実施形態に係る転がり軸受 100A である。各遊星歯車 308 の転がり軸受 309 は、図示の例では 2 列に並べて用いているが、1 列であってもよい。また、転がり軸受 309 は、3 列、4 列およびそれ以上の列数で用いられてもよい。キャリア 307 は、遊星歯車装置 303 における入力部となる部材である。キャリア 307 は、上記入力軸 301 と一体の部材として設けられる。キャリア 307 は、別部材を入力軸 301 と一体に結合することで構成してもよい。構成部材としてのキャリア 307 は、入力軸 301 のとの境界部において軸受 311 を介してケーシング 306 に旋回自在に支持されている。

30

#### 【0091】

キャリア 307 に支持された各遊星歯車 308 は、ケーシング 306 に設けられた内歯のリングギヤ 312 に噛み合う。各遊星歯車 308 は、リングギヤ 312 と同心位置に回転自在に設けられた太陽歯車 313 にも噛み合う。リングギヤ 312 は、ケーシング 306 に直接に形成されたものであっても、ケーシング 306 に固定されたものであってもよい。太陽歯車 313 は、遊星歯車装置 303 における出力部となる部品である。太陽歯車 313 は、上記低速軸 302 に設けられている。構成部材としての低速軸 302 は、軸受 314、315 を介してケーシング 306 に回転自在に支持されている。

#### 【0092】

2 次増速装置 305 は、ギヤ列により構成されている。図示の例において、2 次増速装置 305 では、低速軸 302 に固定されたギヤ 317 が中間軸 321 の小径側ギヤ 318 に噛み合う。中間軸 321 に設けられ大径側ギヤ 319 が出力軸 304 のギヤ 320 に噛み合う。上記ギヤ 317、小径側ギヤ 318、大径側ギヤ 319、ギヤ 320 によりギヤ列が構成される。構成部材としての中間軸 321 および出力軸 304 は、それぞれ軸受 322、323 によってケーシング 306 に回転自在に支持されている。

40

#### 【0093】

転がり軸受 309 および軸受 311、314、315、322、323 としては、図 5 に示した転がり軸受 100A を適用してもよいが、他の任意の構成の転がり軸受を用いてもよい。たとえば、転がり軸受 309 などとして、保持器で円筒ころを保持器する形式や

50

、保持器を用いない総ころ型の軸受を用いてもよい。転がり軸受 309 などの外輪は両鍔付きであり、内輪は鍔無しとされている。なお、転がり軸受 309 などにおいて、外輪を鍔無しとし、内輪を両鍔付きとしてもよい。また、転がり軸受 309 などの転動体である円筒ころは中実体であるが、転動体として中空形状の中空ころを用いてもよい。

#### 【0094】

上述した風力発電機用増速機 300 の動作を説明する。入力軸 301 が回転すると、入力軸 301 と一体のキャリア 307 が回転する。この結果、キャリア 307 の複数箇所に支持された遊星歯車 308 が公転移動する。このとき各遊星歯車 308 は、固定のリングギヤ 312 に噛み合いながら公転することで、自転を生じる。このように公転しながら自転する遊星歯車 308 に太陽歯車 313 が噛み合っている。そのため、太陽歯車 313 は入力軸 301 に対して増速されて回転する。遊星歯車装置 303 の出力部となる太陽歯車 313 は、2次増速装置 305 の低速軸 302 に設けられている。このため、太陽歯車 313 の回転が2次増速装置 305 で増速されて出力軸 304 に伝えられる。このように、入力軸 301 に入力される風車主軸（図示せず）の回転が、遊星歯車装置 303 と2次増速装置 305 とで大幅に増幅されて出力軸 304 に伝えられる。この結果、出力軸 304 からは発電が可能な高速回転が得られる。

10

#### 【0095】

各遊星歯車 308 を支持する転がり軸受 309 の潤滑は、次のように行われる。遊星歯車 308 およびその転がり軸受 309 は、キャリア 307 の回転により公転してケーシング 6 の底に位置した時に油浴 316 に浸かることで潤滑油が供給される。なお、遊星歯車 308 および転がり軸受 309 には循環給油により潤滑油が供給されてもよい。

20

#### 【0096】

ここで、風力発電機においては、風車のメンテナンス、あるいは無風状態の発生などによって長時間の停止が続く場合がある。このとき、転がり軸受 309 では潤滑油の供給が不足する場合がある。特に、風力発電機用増速機 300 は、前述のように気象状況により発電トルクが変化し、転がり軸受 309 および他の軸受などに荷重が加わらない状態が発生する。この結果、転がり軸受 309 の転動体と軌道面との間に滑りが生じ、当該転動体と軌道面との間に金属接触が発生する場合がある。

#### 【0097】

特に、使用する等価荷重が静定格荷重の 0.04 倍以下の場合、転動体と軌道面との間に滑りが生じ、上述のように転動体と軌道面との間に金属接触が発生する場合がある。なお、上述した静定格荷重とは基本静定格荷重を意味する。さらに、潤滑状態が、増速機用軸受において一般的な使用条件である、油膜パラメータが 0.5 以上 10 以下という条件においても、転動体と軌道面との間に金属接触が発生する場合がある。

30

#### 【0098】

また、上記のような風力発電機用増速機 300 に用いられ転がり軸受 309 では、変形によって転動体のスキューまたは片当たりによる滑りが発生し易くなる場合がある。さらに、高速回転する出力軸 304 を支持する軸受 323 は、出力軸 304 の高速回転によるトルク変動などに追従できず、転動体と軌道面との間で滑りが発生する場合がある。この場合も、転動体および軌道面の摩耗が促進され、水素脆性が発生する恐れがある。

40

#### 【0099】

これらの使用条件で用いられる風力発電機用増速機 300 用の転がり軸受 309 および軸受 311, 314, 315, 322, 323 に、本実施形態に係る転がり軸受 100A を適用する。本実施形態に係る転がり軸受 100A では、上述のような組成の鋼材と浸室処理との組合せにより、硬質かつ微細な析出物が表層組織に多数分散している。つまり、転がり軸受 100A では、内輪 110 の表層部、外輪 120 の表層部及び転動体 130 の表層部の鋼中に析出物が高密度で分散しているため、油膜切れが発生しやすい条件下でも摩耗が進展しにくい。また、内輪 110 の表層部、外輪 120 の表層部及び転動体 130 の表層部の鋼中に分散している析出物が水素原子のトラップサイトになるため、内輪 110 の表層部、外輪 120 の表層部及び転動体 130 の表層部における水素拡散係数が小さ

50

くなる。そのため、転がり軸受 1 0 0 A によると、水素脆性に起因した早期剥離現象の発生を抑制することができる。

【 0 1 0 0 】

また、転がり軸受 1 0 0 A では、内輪 1 1 0、外輪 1 2 0 及び転動体 1 3 0 の表面の距離が 5 0 μ m となる位置において、鋼中の残留オーステナイトの体積比が 1 5 パーセント以上（ 2 5 パーセント以上 3 5 パーセント以下）になっているため、異物混入環境下での圧痕起点型剥離に対する耐久性が改善される。

【 0 1 0 1 】

また、転がり軸受 1 0 0 A では、高度な浸窒処理が施されているため、耐異物性が強化され、異物混入潤滑条件下でも長寿命を保つことができる。さらに、潤滑環境由来の水素原子の発生が抑制され、応力負荷域への水素原子の到達も遅延される。この点からも、水素脆性に起因した早期剥離現象の発生を抑制できるとともに、圧痕起点型の早期損傷に対する耐久性が改善される。

10

【 0 1 0 2 】

本実施形態では、図 6 に示す増速機について説明したが、本実施の形態に係る増速機は他の任意の構成としてもよい。たとえば、遊星歯車装置を 2 段等の複数段としたり、平行軸を複数段でなく 1 段にしただけでもよい。これらの段数は適宜変更できる。また、遊星歯車装置と平行軸との組合せでなく、遊星歯車装置のみや、平行軸のみにより構成される増速機であってもよい。

【 0 1 0 3 】

（ 転動疲労寿命試験 ）

実施形態に係る軸受部品の効果（水素脆性の発生を抑制する効果）を確認するために、転動疲労寿命試験を行った。転動疲労寿命試験には、サンプル 1、サンプル 2 及びサンプル 3 が用いられた。サンプル 1 ~ サンプル 3 は、J I S 規格に定められている 5 1 1 0 6 型番のスラスト玉軸受である。

20

【 0 1 0 4 】

サンプル 1 では、軌道盤（内輪及び外輪）が、第 1 鋼材により形成された。サンプル 2 及びサンプル 3 では、軌道盤が、第 2 鋼材により形成された。第 1 鋼材及び第 2 鋼材の組成は、表 1 に示されている。表 1 に示されるように、第 1 鋼材及び第 2 鋼材の成分は、モリブデン及びバナジウムの含有量を除いて、ほぼ同一である。なお、第 2 鋼材は、J I S 規格に定められている高炭素クロム軸受鋼である S U J 2 に対応している。

30

【 0 1 0 5 】

【 表 1 】

表 1

	C (mass%)	Si (mass%)	Mn (mass%)	Cr (mass%)	Mo (mass%)	V (mass%)	残部
第 1 鋼材	1.00	0.26	0.44	1.51	0.24	0.24	Fe 及び 不可避不純物
第 2 鋼材	0.99	0.26	0.44	1.51	-	-	

【 0 1 0 6 】

図 7 は、サンプル 1 の軌道盤の軌道面近傍における窒素濃度及び炭素濃度の測定結果を示すグラフである。図 8 は、サンプル 2 の軌道盤の軌道面近傍における窒素濃度及び炭素濃度の測定結果を示すグラフである。図 7 及び図 8 の横軸は、軌道面からの距離（単位：mm）であり、図 7 及び図 8 の縦軸は、炭素又は窒素の濃度（単位：質量パーセント）である。図 7 及び図 8 に示されるように、サンプル 1 及びサンプル 2 では、軌道盤の表面に対して浸窒処理が行われた。この浸窒処理が行われる際の加熱保持温度は、8 5 0 とされた。他方で、サンプル 3 では、軌道盤の表面に対して、浸窒処理が行われなかった。

40

【 0 1 0 7 】

表 2 には、サンプル 1 ~ サンプル 3 の軌道盤の表層部（軌道面からの距離が 2 0 μ m までの領域）における窒素濃度が示されている。表 2 に示されるように、サンプル 1 及びサ

50

サンプル2の軌道盤の表層部の鋼中では、窒素濃度が0.3パーセント以上0.5パーセント以下であった。サンプル3の軌道盤の表層部の鋼中では、窒素濃度が0.0パーセントであった。

【0108】

【表2】

表2

	表層部の窒素濃度 (mass%)
サンプル1	0.3-0.5
サンプル2	0.3-0.5
サンプル3	0.0

10

【0109】

サンプル1～サンプル3の軌道盤に対しては、焼入れ及び焼戻しが行われた。焼入れの際の加熱保持温度は、850とされた。焼戻しの際の加熱保持温度は、180とされた。焼戻しの際の加熱保持時間は、2時間とされた。

【0110】

図9は、サンプル1の軌道盤の表層部におけるSEM画像である。図10は、サンプル2の軌道盤の表層部におけるSEM画像である。図9及び図10のSEM画像中において、白色の部分が析出物であり、楕円状の灰色の部分がセメンタイトである。

【0111】

表3に示されるように、サンプル1の軌道盤の表層部の鋼中では、析出物の面積率は、2.7パーセントであった。表3に示されるように、サンプル2の表層部の鋼中では、析出物の面積率は、1.6パーセントであった。すなわち、サンプル1の軌道盤の表層部では、サンプル2の軌道盤の表層部と比較して、析出物が高密度に分散していた。この比較から、0.5質量パーセント以下のバナジウム及びモリブデンを添加することにより、軌道盤の表層部の鋼中において析出物が高密度に分散されることが明らかになった。

20

【0112】

サンプル1の軌道盤の表層部では、析出物の最大粒径が、0.5μmであった。サンプル2の軌道盤の表層部では、析出物の最大粒径が、1.1μmであった。すなわち、サンプル1の軌道盤の表層部では、サンプル2の軌道盤の表層部と比較して、析出物が微細に分散していた。この比較から、0.5質量パーセント以下のバナジウム及びモリブデンを添加することにより、軌道盤の表層部の鋼中において析出物が高密度かつ微細に分散されることが明らかになった。

30

【0113】

【表3】

表3

	表層部における 析出物の面積率 (%)	表層部における 析出物の最大粒径 (μm)
サンプル1	2.7	0.5
サンプル2	1.6	1.1

40

【0114】

表4に示されるように、サンプル1及びサンプル2の軌道盤の表層部では、セメンタイトの最大粒径が、1.5μm以下であった。サンプル3の軌道盤の表層部では、セメンタイトの最大粒径が、1.5μmを超えていた。

【0115】

50

## 【表 4】

表 4

	表層部における セメンタイトの最大粒径 ( $\mu\text{m}$ )
サンプル 1	1.01
サンプル 2	1.11
サンプル 3	2.10

## 【0116】

表 5 に示されるように、サンプル 1 及びサンプル 2 では、軌道面からの距離が  $50\ \mu\text{m}$  となる位置において、鋼中の残留オーステナイトの体積比が、15パーセント以上であった。サンプル 3 では、軌道面からの距離が  $50\ \mu\text{m}$  となる位置において、鋼中の残留オーステナイトの体積比が、15パーセント未満であった。サンプル 1～サンプル 3 では、軌道面からの距離が  $50\ \mu\text{m}$  となる位置において、鋼の硬さが、58 HRC 以上であった。

10

## 【0117】

## 【表 5】

表 5

	軌道面からの距離が $50\ \mu\text{m}$ の位置における残留オーステナイトの体積比 (%)	軌道面からの距離が $50\ \mu\text{m}$ の位置における硬さ (HRC)
サンプル 1	30-31	62-63
サンプル 2	30-31	62-63
サンプル 3	10-12	62-63

20

## 【0118】

図 1 1 は、サンプル 1 の軌道盤の表層部における EBSD の相マップである。図 1 2 は、サンプル 2 の軌道盤の表層部における EBSD の相マップである。図 1 3 は、サンプル 3 の軌道盤の表層部における EBSD の相マップである。図 1 1～図 1 3 中において、マルテンサイトブロック粒は、白色になっている。図 1 4 は、サンプル 1～サンプル 3 の軌道盤の表層部におけるマルテンサイトブロック粒の平均粒径を示す棒グラフである。図 1 4 のグラフの縦軸は、マルテンサイトブロック粒の平均粒径 (単位:  $\mu\text{m}$ ) である。

30

## 【0119】

図 1 1～図 1 4 に示されるように、サンプル 1 の軌道盤の表層部では、比較面積率が 30パーセントでのマルテンサイトブロック粒の平均粒径が、 $2.0\ \mu\text{m}$  以下であった。他方で、サンプル 2 及びサンプル 2 の軌道盤の表層部では、比較面積率が 30パーセントでのマルテンサイトブロック粒の平均粒径が、 $2.0\ \mu\text{m}$  を超えていた。

## 【0120】

サンプル 1 の軌道盤の表層部では、比較面積率が 50パーセントでのマルテンサイトブロック粒の平均粒径が、 $1.5\ \mu\text{m}$  以下であった。他方で、サンプル 2 及びサンプル 2 の軌道盤の表層部では、比較面積率が 50パーセントでのマルテンサイトブロック粒の平均粒径が、 $1.5\ \mu\text{m}$  を超えていた。

40

## 【0121】

図 1 5 は、転動疲労寿命試験の結果を示すグラフである。なお、図 1 5 のグラフの横軸は寿命 (単位: 時間) を示しており、図 1 5 のグラフの縦軸は累積破損確率 (単位: パーセント) を示している。転動疲労寿命試験は、表 6 に示されている条件で行われた。すなわち、転動体と軌道盤との最大接触面圧は  $2.3\ \text{GPa}$  とされ、軌道盤は 0 回転 / 分と 2500 回転 / 分との間で急速な加減速が行われ、潤滑液はポリグリコール油に純水を加えたものが用いられた。

## 【0122】

50

## 【表 6】

表 6

最大接触面圧	2.3GPa
回転数	0 回転/分と 2500 回転/分との間で急激に加減速
潤滑液	ポリグリコール+純水

## 【0 1 2 3】

図 1 5 及び表 7 に示されるように、サンプル 1 は、サンプル 2 よりも優れた転動疲労寿命を示した。より具体的には、サンプル 1 の  $L_{10}$  寿命（累積破損確率が 10 パーセント

10

## 【0 1 2 4】

上記のとおり、サンプル 1 の軌道盤の表層部において、比較面積率が 30 パーセントでのマルテンサイト粒の平均粒径が  $2.0 \mu\text{m}$  以下であった。他方で、サンプル 2 及びサンプル 3 の軌道盤の表層部において、比較面積率が 30 パーセントでのマルテンサイト粒の平均粒径が  $2.0 \mu\text{m}$  を超えていた。この比較から、実施形態に係る軸受部品によると耐久性が改善されることが明らかになった。

## 【0 1 2 5】

## 【表 7】

表 7

	サンプル 3 に対する $L_{10}$ 寿命の比
サンプル 1	2.7
サンプル 2	2.1
サンプル 3	1.0

20

## 【0 1 2 6】

また、上記のとおり、サンプル 1 の軌道盤の表層部では、サンプル 1 の軌道盤の表層部では、サンプル 2 の軌道盤の表層部よりも析出物が微細かつ高密度に分散していた。この比較から、表層部における析出物の面積率及び最大粒径をそれぞれ 2.0 パーセント以上

30

## 【0 1 2 7】

また、サンプル 2 の  $L_{10}$  寿命は、サンプル 3 の  $L_{10}$  寿命よりも長かった。上記のとおり、サンプル 2 の軌道盤の表層部ではセメントの最大粒径が  $1.5 \mu\text{m}$  以下であった一方で、サンプル 3 の軌道盤の表層部ではセメントの最大粒径が  $1.5 \mu\text{m}$  を超えていた。また、サンプル 2 の軌道盤では軌道面からの距離が  $50 \mu\text{m}$  となる位置における残留オーステナイトの体積比が 15 パーセント以上になっている一方で、サンプル 3 の軌道盤では軌道面からの距離が  $50 \mu\text{m}$  となる位置における残留オーステナイトの体積比が 15 パーセント未満になっていた。

40

## 【0 1 2 8】

この比較から、軸受部品の表層部においてセメントの最大粒径を  $1.5 \mu\text{m}$  以下にすること及び軸受部品の表面からの距離が  $50 \mu\text{m}$  となる位置において残留オーステナイトの体積比を 15 パーセント以上とすることにより、軸受部品の耐久性が改善されることが明らかになった。

## 【0 1 2 9】

（水素侵入特性に関する試験）

サンプル 1 及びサンプル 3 の軌道部材としての軌道盤（内輪及び外輪）の表層部への水素侵入特性を、以下の方法により評価した。この評価では、第 1 に、上記の転動疲労寿命試験に供される前のサンプル 1 及びサンプル 3 の軌道部材を室温から  $400$  まで加熱す

50

ることにより、転動疲労寿命試験に供される前のサンプル 1 及びサンプル 3 の軌道部材からの水素放出量が測定された。第 2 に、転動疲労寿命試験に 50 時間供された後のサンプル 1 及びサンプル 3 の軌道部材を室温から 400 ° まで加熱することにより、転動疲労寿命試験に 50 時間供された後のサンプル 1 及びサンプル 3 の軌道部材からの水素放出量が測定された。

【0130】

サンプル 3 では、転動疲労寿命試験の前後での水素放出量の比（すなわち、転動疲労寿命試験に供された後の水素放出量を転動疲労寿命試験に供される前の水素放出量で除した値）が、3.2 になっていた。他方で、サンプル 1 では、転動疲労寿命試験の前後での水素放出量の比が、0.9 になっていた。この比較から、接触面に表層部 11 が形成されることにより表層部 11 への水素侵入が抑制され、水素脆性に起因した早期剥離が抑制されることが、実験的に明らかにされた。

10

【0131】

以上のように本発明の実施形態について説明を行ったが、上記の実施形態を様々に変形することも可能である。また、本発明の範囲は、上記の実施形態に限定されるものではない。本発明の範囲は、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内での全ての変更を含むことが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0132】

本実施形態は、軸受部品及びそれを有する転がり軸受に特に有利に適用される。

20

【符号の説明】

【0133】

10, 110 内輪、10a, 10b, 20a, 20b, 110a, 110b, 120a, 120b 幅面、10c, 20c, 110c, 120c 内周面、10d, 20d, 110d, 120d 外周面、10da, 20ca, 110da, 120ca 軌道面、11 表層部、20, 120 外輪、30, 130 転動体、40 保持器、311, 314, 315, 322, 323 軸受、130a 転動面、300 風力発電機用増速機、301 入力軸、302 低速軸、303 遊星歯車装置、304 出力軸、305 2次増速装置、307 キャリア、308 遊星歯車、310 遊星軸、312 リングギヤ、313 太陽歯車、316 油浴、317, 320 ギヤ、318 小径側ギヤ、319 大径側ギヤ、321 中間軸、100, 100A, 309 転がり軸受、A 中心軸、S1 準備工程、S2 浸室工程、S3 焼入れ工程、S4 焼戻し工程、S5 後処理工程。

30

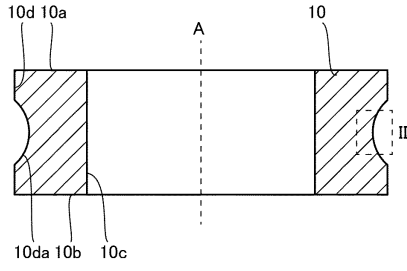
40

50

【 図面 】

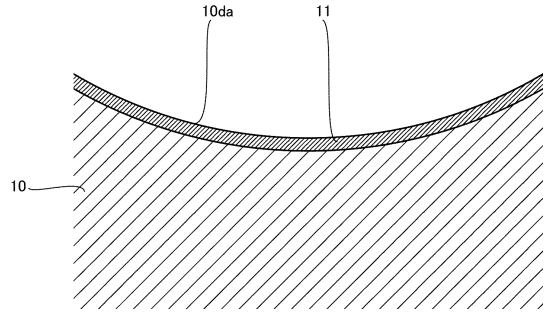
【 図 1 】

図1



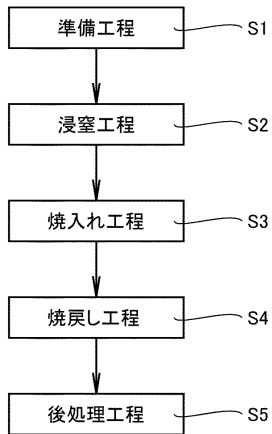
【 図 2 】

図2



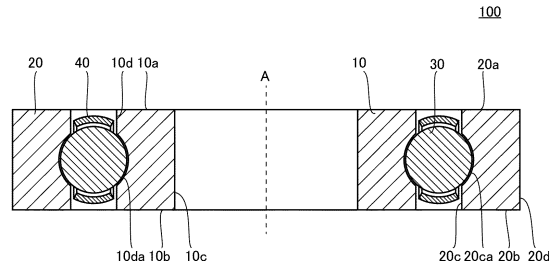
【 図 3 】

図3



【 図 4 】

図4



10

20

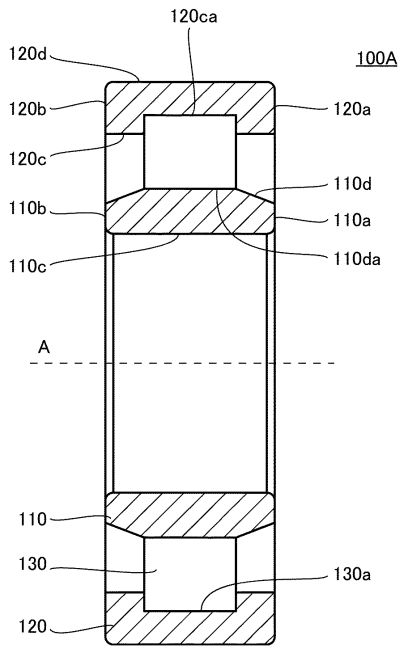
30

40

50

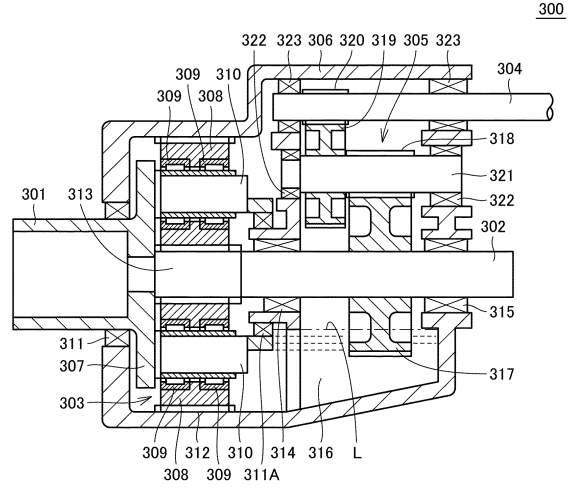
【 図 5 】

図5



【 図 6 】

図6

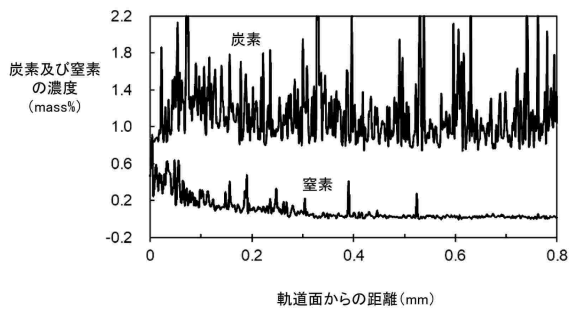


10

20

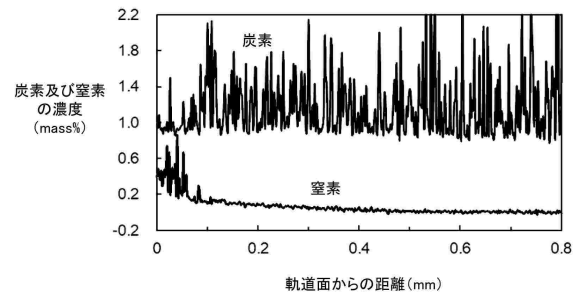
【 図 7 】

図7



【 図 8 】

図8



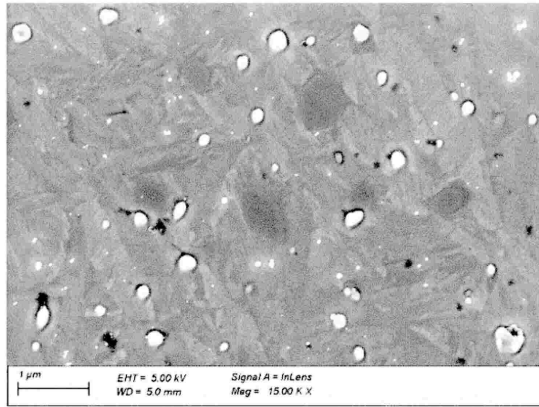
30

40

50

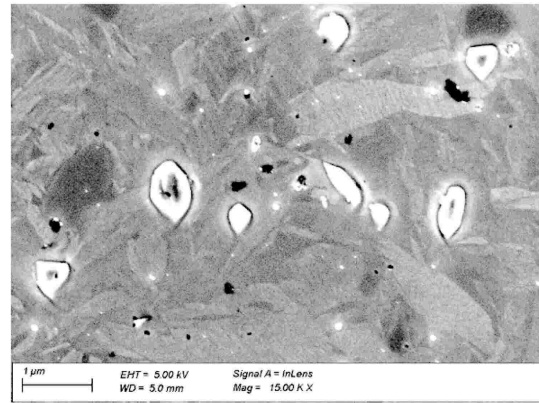
【 図 9 】

図9



【 図 1 0 】

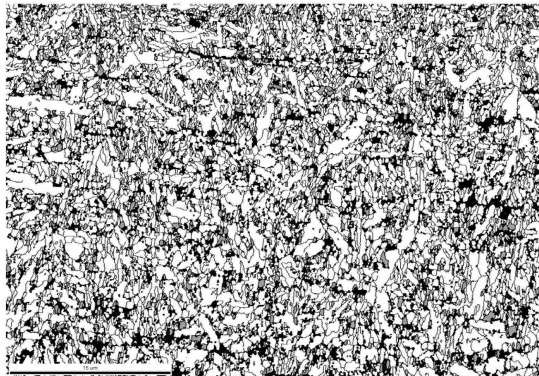
図10



10

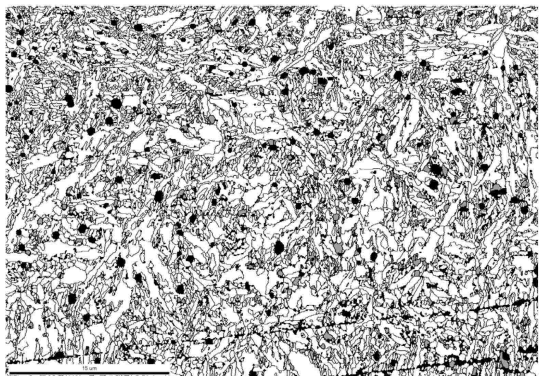
【 図 1 1 】

図11



【 図 1 2 】

図12



20

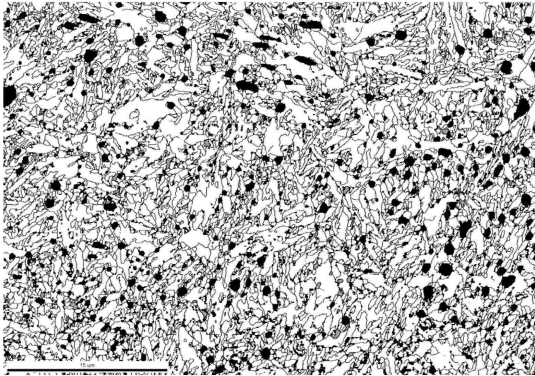
30

40

50

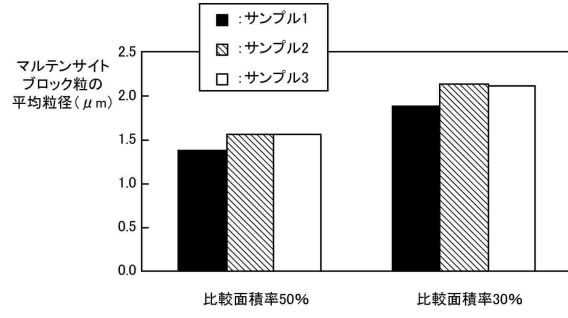
【 図 1 3 】

図13



【 図 1 4 】

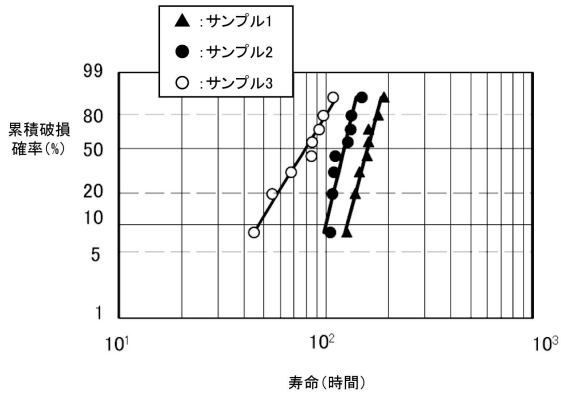
図14



10

【 図 1 5 】

図15



20

30

40

50

## フロントページの続き

- (72)発明者 佐藤 美有  
三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内
- (72)発明者 三輪 則暁  
三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内
- (72)発明者 大木 力  
三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内
- 審査官 鈴木 貴晴
- (56)参考文献 国際公開第2019/039610(WO, A1)  
国際公開第2010/067872(WO, A1)  
特開2019-108576(JP, A)  
特開2009-127110(JP, A)  
特開平11-51065(JP, A)  
特表平7-505679(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
F16C 19/00 - 19/56,  
33/30 - 33/66