

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-66041

(P2019-66041A)

(43) 公開日 平成31年4月25日(2019.4.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
F 1 6 C 19/36 (2006.01)	F 1 6 C 19/36	3 J 7 0 1
F 1 6 C 33/36 (2006.01)	F 1 6 C 33/36	
F 1 6 C 33/64 (2006.01)	F 1 6 C 33/64	
F 1 6 C 33/66 (2006.01)	F 1 6 C 33/66	Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 40 頁)

(21) 出願番号	特願2018-174093 (P2018-174093)	(71) 出願人	000102692 NTN株式会社
(22) 出願日	平成30年9月18日 (2018. 9. 18)		大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
(31) 優先権主張番号	特願2017-188704 (P2017-188704)	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
(32) 優先日	平成29年9月28日 (2017. 9. 28)	(72) 発明者	磯部 希 静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN 株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	松下 知樹 静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN 株式会社内
		(72) 発明者	川井 崇 静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN 株式会社内

最終頁に続く

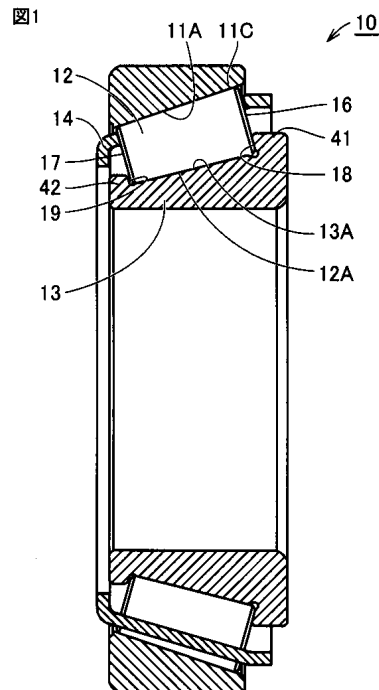
(54) 【発明の名称】 円錐ころ軸受

(57) 【要約】

【課題】耐焼付き性に優れるとともに、長寿命かつ高い耐久性を有する円錐ころ軸受を提供する。

【解決手段】円錐ころ軸受の円錐ころ12の大端面16において、大鍔面18と接触する円周状の表面領域の算術平均粗さRaの最大値と最小値との差は $0.02\mu\text{m}$ Ra以下である。円錐ころ12の大端面16の設定曲率半径をR、円錐ころ12の円錐角の頂点である点から内輪13の大鍔面18までの距離を R_{BASE} としたとき、設定曲率半径Rと距離 R_{BASE} の比率 R/R_{BASE} の値を 0.75 以上 0.87 以下とする。円錐ころ12の大端面16の研削加工後の実曲率半径を R_{process} としたとき、実曲率半径 R_{process} と設定曲率半径Rとの比率 R_{process}/R が 0.5 以上である。大鍔面18の算術平均粗さRaが $0.1\mu\text{m}$ Ra以上 $0.2\mu\text{m}$ Ra以下である。大鍔面18の粗さ曲線のスキューネスRskが -1.0 以上 -0.3 以下である。大鍔面18の粗さ曲線のクルトシスRkuは 3.0 以上 5.0 以下である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内周面において外輪軌道面を有する外輪と、

外周面において内輪軌道面と、前記内輪軌道面よりも大径側に配置された大鍔面とを有し、前記外輪の内側に配置された内輪と、

前記外輪軌道面および前記内輪軌道面と接触する転動面と前記大鍔面と接触する大端面とを有し、前記外輪軌道面と前記内輪軌道面との間に配列される複数の円錐ころを備え

、前記円錐ころの前記大端面の設定曲率半径を R 、前記円錐ころの円錐角の頂点から前記内輪の大鍔面までの距離を R_{BASE} としたとき、

前記設定曲率半径 R と前記距離 R_{BASE} の比率 R / R_{BASE} の値を 0.75 以上 0.87 以下とし、

前記円錐ころの前記大端面の研削加工後の実曲率半径を $R_{process}$ としたとき、前記実曲率半径 $R_{process}$ と前記設定曲率半径 R との比率 $R_{process} / R$ が 0.5 以上であり、

前記円錐ころの前記大端面において、前記大鍔面と接触する円周状の表面領域の算術平均粗さ R_a の最大値と最小値との差は $0.02 \mu m R_a$ 以下であり、

前記大鍔面の算術平均粗さ R_a が $0.1 \mu m R_a$ 以上 $0.2 \mu m R_a$ 以下であり、

前記大鍔面の粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が -1.0 以上 -0.3 以下であり、

前記大鍔面の粗さ曲線のクルトシス R_{ku} は 3.0 以上 5.0 以下である、円錐ころ軸受。

【請求項 2】

前記円錐ころの前記大端面の粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が 2 以上 7 以下であり、前記大端面の粗さ曲線のクルトシス R_{ku} は -1 以上 1 以下である、請求項 1 に記載の円錐ころ軸受。

【請求項 3】

前記円錐ころの前記大端面の算術平均粗さ R_a が $0.10 \mu m R_a$ 以下である、請求項 1 または 2 に記載の円錐ころ軸受。

【請求項 4】

前記大鍔面の凹凸の高さの最大値は $1 \mu m$ 以下である、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の円錐ころ軸受。

【請求項 5】

前記内輪の中心軸を通る断面において、前記内輪軌道面および前記外輪軌道面は直線状または円弧状であり、

前記円錐ころの前記転動面にはクラウニングが形成され、

前記クラウニングのドロップ量の和は、前記円錐ころの前記転動面の母線を y 軸とし、母線直交方向を z 軸とする $y - z$ 座標系において、 K_1 、 K_2 、 z_m を設計パラメータ、 Q を荷重、 L を前記円錐ころにおける前記転動面の有効接触部の母線方向長さ、 E' を等価弾性係数、 a を前記円錐ころの前記転動面の母線上にとった原点から前記有効接触部の端部までの長さ、 $A = 2 K_1 Q / L E'$ としたときに、式 (1) で表される、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の円錐ころ軸受。

【数 1】

$$z(y) = A \ln \frac{1}{1 - \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{z_m}{A}\right) \right\} \left(\frac{y-a}{K_2 a} + 1 \right)^2} \quad \dots (1)$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、円錐ころ軸受に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

従来、軸受の一種として円錐ころ軸受が知られている。円錐ころ軸受は、たとえば自動車などの機械装置に適用される。円錐ころ軸受は、使用時、円すいころの大端面と内輪の大鍔面とが接触し、一定のアキシアル荷重を受けることができる。しかし、上述した円錐ころの大端面と内輪の大鍔面との接触は転がり接触ではなく、すべり接触となる。このため、上記円錐ころの大端面と内輪の大鍔面との接触部における潤滑環境が不十分であると、当該接触部において発熱し、軸受が急昇温する懸念がある。

【0003】

上記問題点を解決するためには、円錐ころの大端面と内輪の大鍔面との接触部における摩擦によるトルクロスと発熱とを低減するとともに、当該接触部における油膜形成性を向上させる必要がある。

【0004】

たとえば、特開2000-170774号公報（以下、特許文献1とも呼ぶ）には、円錐ころの大端面の曲率半径を R とし、円錐ころの円錐角の頂点から内輪の大鍔面（円錐ころとの接触部）までの距離を R_{BASE} としたときに、比率 R/R_{BASE} を $0.75 \sim 0.87$ の範囲にすることが提案されている。これにより、円錐ころの大端面と内輪の大鍔面との接触部における油膜形成性を向上させている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2000-170774号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、特許文献1では、円錐ころの大端面の加工後の実曲率半径について許容範囲が規定されていない。そのため、 R/R_{BASE} の値を $0.75 \sim 0.87$ の範囲内に設定しても、上記の実曲率半径が小さくなると、想定よりも大きなスキューを誘発する恐れがある。

【0007】

また、上述した円錐ころ軸受は、外輪または内輪を低速度で回転させる条件の回転数の範囲内で回転トルクを安定化させることが望ましい。さらに円錐ころ軸受は、回転時の昇温により外輪または内輪が焼付く不具合が生じる可能性があるため、耐焼付き性を向上させることが望ましい。しかしこれまでそのような回転トルクの安定化と耐焼付き性とを両立させる技術について提案されていなかった。

【0008】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の目的は、耐焼付き性に優れるとともに、荷重の作用によるトルクを安定させた円錐ころ軸受を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本開示に従った円錐ころ軸受は、外輪と内輪と複数の円錐ころとを備える。外輪は、内周面において外輪軌道面を有する。内輪は、外周面において内輪軌道面と、当該内輪軌道面よりも大径側に配置された大鍔面とを有し、外輪の内側に配置される。複数の円錐ころは、外輪軌道面および内輪軌道面と接触する転動面と、大鍔面と接触する大端面とを有する。複数の円錐ころは、外輪軌道面と内輪軌道面との間に配列される。円錐ころの大端面の設定曲率半径を R 、円錐ころの円錐角の頂点から内輪の大鍔面までの距離を R_{BASE} としたとき、設定曲率半径 R と距離 R_{BASE} の比率 R/R_{BASE} の値を 0.75 以上 0.87 以下とする。円錐ころの大端面の研削加工後の実曲率半径を $R_{process}$ としたとき、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比率 $R_{process}/R$ が 0.5 以上である。円錐ころの大

10

20

30

40

50

端面において、大鍔面と接触する円周状の表面領域の算術平均粗さ R_a の最大値と最小値との差は $0.02 \mu m R_a$ 以下である。大鍔面の算術平均粗さ R_a が $0.1 \mu m R_a$ 以上 $0.2 \mu m R_a$ 以下である。大鍔面の粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が -1.0 以上 -0.3 以下である。大鍔面の粗さ曲線のクルトシス R_{ku} は 3.0 以上 5.0 以下である。

【発明の効果】

【0010】

上記によれば、耐焼付き性に優れるとともに、荷重の作用によるトルクを安定させた円錐ころ軸受が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態に係る円錐ころ軸受を示す断面模式図である。

【図2】図1の要部の拡大断面図である。

【図3】実施の形態に係る円錐ころ軸受の設計仕様を示す断面模式図である。

【図4】実施の形態に係る円錐ころ軸受においてころの基準曲率半径を説明するための断面模式図である。

【図5】図4に示される領域Vを示す部分断面模式図である。

【図6】実施の形態に係る円錐ころ軸受においてころの実曲率半径を説明するための断面模式図である。

【図7】実施の形態に係る円錐ころ軸受の円錐ころの大端面を示す平面模式図である。

【図8】本実施の形態の大鍔面のスキューネス R_{sk} を示す粗さ曲線である。

【図9】本実施の形態の大鍔面のクルトシス R_{ku} を示す粗さ曲線である。

【図10】実施の形態に係る円錐ころ軸受において、内輪軌道面と転動面との当たり位置の変更方法の一例を示す断面模式図である。

【図11】実施の形態に係る円錐ころ軸受において、転走面と転動面との当たり位置の変更方法の他の一例を示す断面模式図である。

【図12】実施の形態に係る円錐ころ軸受のころの対数クラウニングの形状を説明するための図である。

【図13】本実施の形態の円錐ころ軸受に含まれる円錐ころのクラウニング形状の第1例を示す図である。

【図14】本実施の形態の円錐ころ軸受に含まれる円錐ころのクラウニング形状の第2例を示す図である。

【図15】本実施の形態の円錐ころ軸受に含まれる円錐ころの母線方向座標とドロップ量との関係を表す図である。

【図16】実施の形態に係る円錐ころ軸受の内輪の詳細形状を示す部分断面模式図である。

【図17】図16の領域XVIIの拡大模式図である。

【図18】図16に示した内輪軌道面の母線方向の形状を示す模式図である。

【図19】実施の形態に係る軸受部品の旧オーステナイト結晶粒界を示す図である。

【図20】従来の軸受部品の旧オーステナイト結晶粒界を示す図である。

【図21】実施の形態に係る円錐ころ軸受のころの大端面の曲率半径と油膜厚さとの関係を示すグラフである。

【図22】実施の形態に係る円錐ころ軸受のころの大端面の曲率半径と最大ヘルツ応力との関係を示すグラフである。

【図23】輪郭線が対数関数で表されるクラウニングを設けたころの輪郭線と、ころの転動面における接触面圧を重ねて示した図である。

【図24】部分円弧のクラウニングとストレート部との間を補助円弧としたころの輪郭線と、ころの転動面における接触面圧を重ねて示した図である。

【図25】実施の形態に係る円錐ころ軸受の製造方法のフローチャートである。

【図26】実施の形態における熱処理方法を説明するための図である。

【図27】実施の形態における熱処理方法の変形例を説明するための図である。

10

20

30

40

50

【図 28】実施の形態に係る円錐ころ軸受を備えるデファレンシャルを示す縦断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

【0013】

<円錐ころ軸受の構成>

【0014】

図 1 は、本発明の実施の形態に係る円錐ころ軸受の断面模式図である。図 2 は、図 1 に示した円錐ころのうち特に小端面 17 および小鑿面 19 の配置される領域およびその周囲の領域を拡大して示す断面図である。図 3 は、図 1 に示した円錐ころ軸受の設計仕様を示す断面模式図である。図 1 ~ 図 3 を用いて本実施の形態に係る円錐ころ軸受を説明する。

10

【0015】

図 1 に示す円錐ころ軸受 10 は、外輪 11 と、内輪 13 と、複数の円錐ころ（以下では単に、ころと呼ぶこともある）12 と、保持器 14 とを主に備えている。外輪 11 は、環形状を有し、その内周面に外輪軌道面 11A を有している。内輪 13 は、環形状を有し、その外周面に内輪軌道面 13A を有している。内輪 13 は、内輪軌道面 13A が外輪軌道面 11A に対向するように外輪 11 の内周側に配置されている。なお、以下の説明において、円錐ころ軸受 10 の中心軸に沿った方向を「軸方向」、中心軸に直交する方向を「径方向」、中心軸を中心とする円弧に沿った方向を「周方向」と呼ぶ。

20

【0016】

ころ 12 は、外輪 11 の内周面上に配置されている。ころ 12 は転動面としてのころ転動面 12A を有し、当該ころ転動面 12A において内輪軌道面 13A および外輪軌道面 11A に接触する。すなわち複数のころ 12 は外輪軌道面 11A と内輪軌道面 13A との間に配列される。複数のころ 12 は金属からなる保持器 14 により周方向に所定のピッチで配置されている。これにより、ころ 12 は、外輪 11 および内輪 13 の円環状の軌道上に転動自在に保持されている。また、円錐ころ軸受 10 は、外輪軌道面 11A を含む円錐、内輪軌道面 13A を含む円錐、およびころ 12 が転動した場合の回転軸の軌跡を含む円錐のそれぞれの頂点が軸受の中心線上の 1 点（図 3 の点 O）で交わるように構成されている。

30

【0017】

外輪 11、内輪 13、ころ 12 を構成する材料は、たとえば JIS 規格に規定される高炭素クロム軸受鋼、より具体的には JIS 規格 SUJ2 により構成されている。

【0018】

図 2 の拡大図を参照して、内輪 13 の小鑿面 19 は、ころ 12 の小端面 17 と平行な研削加工面に仕上げられ、図中に一点鎖線で示す初期組立状態で、ころ 12 の小端面 17 と面接触している。小端面 17 は、ころ 12 の小鑿面 19 との間に隙間を有している。実線で示すころ 12 が正規の位置に落ち着いた状態、すなわち、ころ 12 の大端面 16 が内輪 13 の大鑿面 18 と接触した状態にて形成される、内輪 13 の小鑿面 19 ところ 12 の小端面 17 との隙間が、0.4mm の寸法規制範囲内に入れられている。これにより、馴らし運転でのころ 12 が正規の位置に落ち着くまでに必要な回転回数を減らし、馴らし運転時間を短縮することができる。

40

【0019】

なお、ころ 12 の転動面と、内輪軌道面 13A との接触面は、直線状であるストレート部を有していることが好ましい。

【0020】

円錐ころ 12 の大端面 16 の曲率半径 R と、点 O から内輪 13 の大鑿面 18 までの距離 R_{BASE} との比 R / R_{BASE} :

50

【 0 0 2 1 】

図 3 に示すように、円錐ころ 1 2 と、外輪 1 1 および内輪 1 3 の各軌道面 1 1 A、1 3 A の各円錐角頂点は、円錐ころ軸受 1 0 の中心線上の一点 O で一致する。円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 の曲率半径（設定曲率半径とも呼ぶ） R と、点 O から内輪 1 3 の大鏝面 1 8 までの距離 R_{BASE} との比率 R / R_{BASE} の値を 0.75 以上 0.87 以下とする。

【 0 0 2 2 】

円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 の形状：

【 0 0 2 3 】

円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 の研削加工後の実曲率半径を $R_{process}$ としたとき、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比率 $R_{process} / R$ は 0.5 以上とされる。ただし上記比率は 0.8 以上であってもよい。以下、具体的に説明する。

10

【 0 0 2 4 】

図 4 および図 5 は、研削加工が理想的に施された場合に得られる円錐ころ 1 2 の転動軸に沿った断面模式図である。研削加工が理想的に施された場合、得られる円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 は、円錐ころ 1 2 の円錐角の頂点である点 O（図 3 参照）を中心とする球面の一部となる。図 4 および図 5 に示されるように、凸部 1 6 A の一部を残すような研削加工が理想的に施された場合には、凸部 1 6 A の端面を有するころ 1 2 の大端面 1 6 は、ころ 1 2 の円錐角の頂点を中心とする 1 つの球面の一部となる。この場合、ころ 1 2 の転動軸（自転軸）を中心とする径方向における上記凸部 1 6 A の内周端は凹部 1 6 B と点 C 2、C 3 を介して接続されている。上記凸部 1 6 A の外周端は面取り部 1 6 C と点 C 1、C 4 を介して接続されている。理想的な大端面では、点 C 1 ~ C 4 は、上述のように 1 つの球面上に配置されている。

20

【 0 0 2 5 】

一般的に、円錐ころは、円柱状のころ素形材に対し、圧造加工、クラウニング加工を含む研削加工が順に施されることにより、製造される。圧造加工により得られた成形体の大端面となるべき面の中央部には、圧造装置のパンチの形状に起因した凹部が形成されている。当該凹部の平面形状は例えば円形状である。ここで、ころ 1 2 の大端面 1 6 の曲率半径（設定曲率半径） R は、図 4 に示すころ 1 2 の大端面 1 6 が設定した理想的な球面であるときの R 寸法である。具体的には、図 5 に示すように、ころ 1 2 の大端面 1 6 の端部の点 C 1、C 2、C 3、C 4、点 C 1、C 2 の中間点 P 5、点 C 3、C 4 の中間点 P 6 を考

そして、大端面 1 6 が上記理想的な球面である場合、図 5 に示した断面において、大端面 1 6 は、点 C 1、P 5、C 2 を通る曲率半径 R_{152} 、点 C 3、P 6、C 4 を通る曲率半径 R_{364} 及び点 C 1、P 5、P 6、C 4 を通る曲率半径 R_{1564} について $R_{152} = R_{364} = R_{1564}$ という条件が成り立つ、理想的な単一円弧曲線となる。なお、点 C 1、C 4 は、凸部 1 6 A と面取り部 1 6 C との接続点であり、点 C 2、C 3 は、凸部 1 6 A と凹部 1 6 B との接続点である。ここで、 $R = R_{152} = R_{364} = R_{1564}$ が成り立つ理想的な単一円弧曲線の曲率半径を設定曲率半径と呼ぶ。なお、設定曲率半径 R は、後述のように実際の研削加工により得られた円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 の曲率半径として測定される実曲率半径 $R_{process}$ とは異なるものである。

30

【 0 0 2 6 】

図 6 は、実際の研削加工により得られる円錐ころの転動軸に沿った断面模式図である。図 6 では、図 5 に示される理想的な大端面は点線で示されている。図 6 に示されるように、上記のような凹部および凸部が形成されている成形体を研削加工して、実際に得られる円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 は、円錐ころ 1 2 の円錐角の頂点を中心とする 1 つの球面の一部とならない。実際に得られる円錐ころ 1 2 の上記凸部の点 C 1 ~ C 4 は、図 5 に示される上記凸部 1 6 A と比べて、各点 C 1 ~ C 4 がダレた形状を有している。すなわち、図 6 に示される点 C 1、C 4 は、図 5 に示される点 C 1、C 4 と比べて、転動軸の中心に対する径方向において外周側に配置されているとともに、転動軸の延在方向において内側に配置されている（大端面 1 6 全体の R_{1564} に対して片側の R_{152} が同一ではなく、小さくできてしまう）。

40

50

【0027】

図6に示される点C2, C3は、図5に示される点C2, C3と比べて、転動軸の中心に対する径方向において内周側に配置されているとともに、転動軸の延在方向において内側に配置されている(大端面16全体のR1564に対して片側のR364が同一ではなく、小さくできてしまう)。なお、図6に示される中間点P5, P6は、例えば図5に示される中間点P5, P6と略等しい位置に形成されている。

【0028】

図6に示されるように、研削加工により実際に形成される大端面では、頂点C1および頂点C2が1つの球面上に配置されており、かつ頂点C3および頂点C4が他の1つの球面上に配置されている。一般的な研削加工によっては、一方の凸部上に形成された大端面の一部が成す1つの円弧の曲率半径は、他方の凸部上に形成された大端面の一部が成す円弧の曲率半径と、同等程度となる。すなわち、図6に示されるころ12の大端面16の加工後の一方側のR152は、他方側のR364に略等しい。ここで、ころ12の大端面16の加工後の片側のR152、R364を実曲率半径 $R_{process}$ と呼ぶ。上記実曲率半径 $R_{process}$ は上記設定曲率半径R以下となる。

10

【0029】

本実施の形態に係る円錐ころ軸受の円錐ころ12は、上述したように設定曲率半径Rに対する上記実曲率半径 $R_{process}$ の比率 $R_{process}/R$ が0.5以上である。

【0030】

なお、図6に示されるように、研削加工により実際に形成される大端面において、頂点C1, 中間点P5、中間点P6、および頂点C4を通る仮想円弧の曲率半径 $R_{virtual}$ (以下、仮想曲率半径という)は、上記設定曲率半径R以下となる。つまり、本実施の形態に係る円錐ころ軸受の円錐ころ12は、当該仮想曲率半径 $R_{virtual}$ に対する上記実曲率半径 $R_{process}$ の比率 $R_{process}/R_{virtual}$ が0.5以上である。

20

【0031】

円錐ころ12の大端面16の算術平均粗さ(表面粗さ)：

【0032】

大端面16の算術平均粗さ R_a は $0.10\mu m R_a$ 以下であってもよい。以下、図7を参照しながら説明する。図7は、円錐ころ12の大端面16を示す平面模式図である。図7に示すように、大端面16は面取り部16Cと凸部16Aと凹部16Bとを含む。大端面16では最外周に面取り部16Cが配置される。面取り部16Cの内周側に環状の凸部16Aが配置される。凸部16Aの内周側に凹部16Bが配置される。凸部16Aは凹部16Bより突出した面である。面取り部16Cは凸部16Aと円錐ころ12の側面である転動面とを繋ぐように形成されている。上述した大端面16の算術平均粗さ R_a は、実質的には凸部16Aの算術平均粗さを意味する。また、円錐ころ12の大端面16において、大鍔面18と接触する円周状の表面領域である凸部16Aの算術平均粗さ R_a の最大値と最小値との差は $0.02\mu m R_a$ 以下である。

30

【0033】

大鍔面18は、例えば $0.12\mu m R_a$ 以下の算術平均粗さに研削加工されている。好ましくは、大鍔面の算術平均粗さ R_a は $0.063\mu m R_a$ 以下である。

40

【0034】

本実施の形態の円錐ころ軸受10においては、大鍔面18の算術平均粗さ R_a が $0.1\mu m R_a$ 以上 $0.2\mu m R_a$ 以下であり、大鍔面18の粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が -1.0 以上 -0.3 以下であり、大鍔面18の粗さ曲線のクルトシス R_{ku} は 3.0 以上 5.0 以下である。ここで、粗さ曲線のスキューネス R_{sk} は、日本工業規格(JIS)B0601:2013の4.2.3で規定される粗さ曲線のスキューネス R_{sk} のことであり、粗さ曲線のクルトシス R_{ku} は、日本工業規格(JIS)B0601:2013の4.2.4で規定される粗さ曲線のクルトシス R_{ku} のことである。

【0035】

円錐ころ軸受10の外輪11または内輪13を低速度で回転させる条件、すなわち20

50

0 r / m i n 以下の回転数の範囲内で回転トルクを安定化させるため、大鍔面 1 8 の算術平均粗さ R a を 0 . 1 μ m R a 以上 0 . 2 μ m R a 以下とする。

【 0 0 3 6 】

粗さ曲線のスキューネス R s k は、以下の式 (1) に示すように、断面曲線の二乗平均平方根粗さ R q の三乗によって無次元化した基準長さにおける z (x) の三乗平均である。粗さ曲線のスキューネス R s k は、輪郭曲線の確率密度関数の非対称性の度合いを示す数値であり、突出した山または谷の影響を強く受けるパラメータである。

【 数 1 】

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{l} \int_0^l z^3(x) dx \right] \quad \dots(1) \quad 10$$

図 8 に、スキューネス R s k > 0 を満足する粗さ曲線と、スキューネス R s k < 0 を満足する粗さ曲線とを示している。

【 0 0 3 7 】

これら両粗さ曲線の比較から明らかなように、スキューネス R s k > 0 の場合、図 8 の紙面上方へ急激に突出した山が多く、このような場合には大鍔面 1 8 の耐焼付き性が超仕上げ水準の粗さよりも大きく劣ってしまう可能性がある。しかしスキューネス R s k < 0 の場合、図 8 の紙面上方へ急激に突出した山の尖りが比較的少ない傾向の表面形状となるため、油膜が破れにくくなり、焼付きの防止に有利である。スキューネス R s k の負の値が大きくなるほど、谷の幅が図 8 の紙面左右方向に広がり、突出した山の尖りが比較的少ない傾向の表面 (円錐ころ軸受 1 0 においては、ころ 1 2 の大端面 1 6 と接触する内輪 1 3 の大鍔面 1 8) の幅が狭くなる。このため当該表面と谷との境界部分で応力集中が生じてしまうので、油膜形成が阻害される。内輪 1 3 の大鍔面 1 8 の粗さ曲線のスキューネス R s k を - 1 . 0 以上 - 0 . 3 以下とすることにより、当該大鍔面 1 8 が、突出した山の尖りが比較的少なく滑らかな平面を図 8 の幅方向に関して広く有する特性となり、油膜形成に有利に働く表面形状となる。

【 0 0 3 8 】

図 8 の右方に示すように、R s k の確率密度関数は、R s k < 0 においては図中点線で横方向に延びる平均線よりも上側に偏在する。このため R s k < 0 であり特にこれを - 1 . 0 以上 - 0 . 3 以下とすることにより、大鍔面 1 8 の表面は滑らかな山を広範囲に有する形状となる。

【 0 0 3 9 】

さらに、粗さ曲線のクルトシス R k u は、以下の式 (2) に示すように、断面曲線の二乗平均平方根粗さ R q の四乗によって無次元化した基準長さにおける z (x) の四乗平均である。粗さ曲線のクルトシス R k u は、輪郭曲線の確率密度関数のとがり (鋭さ) の度合いを示す数値であり、突出した山または谷の影響を強く受けるパラメータである。

【 数 2 】

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{l} \int_0^l z^4(x) dx \right] \quad \dots(2) \quad 40$$

図 9 に、クルトシス R k u > 3 を満足する粗さ曲線と、クルトシス R k u < 3 を満足する粗さ曲線とを示している。

【 0 0 4 0 】

これら両粗さ曲線の比較から明らかなように、クルトシス R k u < 3 の場合、曲線に急激に突出した山または谷の尖りが少なく、このような場合には回転トルクが安定しない可能性がある。しかしクルトシス R k u > 3 の場合、図の上方および下方に山および谷が比較的急激に突出した尖りが多くなる傾向にある。これにより大鍔面 1 8 は適度に金属と接触することができ、円錐ころ軸受 1 0 の回転トルクを安定させることに有利となる。ただ 50

し、クルトシス Rku の正の値が過剰に大きくなれば、大鏝面 18 の過度な金属接触が起こり、耐焼付き性が低下する。そこで内輪 13 の大鏝面 18 の粗さ曲線のクルトシス Rku を 3.0 以上 5.0 以下とすることにより、当該大鏝面 18 は、低速回転時における回転トルクの安定化を図るための粗さの突起をもった表面性状となる。

【0041】

また、本実施の形態においては、円錐ころ 12 の大端面 16 の粗さ曲線のスキューネス Rsk が 2 以上 7 以下であり、大端面 16 の粗さ曲線のクルトシス Rku は -1 以上 1 以下である。さらに、大鏝面 18 が凹凸を有する母線形状である場合、当該大鏝面 18 の凹凸の高さの最大値は $1\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0042】

円錐ころ 12 の転動面と内輪軌道面との当たり位置：（図 10、12）

【0043】

図 10 に示すように、円錐ころ 12 の転動軸の延在方向における転動面 12A の幅を L 、内輪軌道面 13A と転動面 12A との当たり位置の中心 C の、延在方向における転動面 12A の中点 N から大端面 16 側へのずれ量を Δ としたとき、円錐ころ軸受 10 では、幅 L とずれ量 Δ との比率 Δ/L が 0% 以上 20% 未満であってもよい。

【0044】

本発明者らは、上記比率 Δ/L が 0% 以上 20% 未満であり、かつ、該比率 Δ/L が 0% 超えであるときの当該当たり位置の中心 C が転動軸の延在方向における転動面の中央 N または該中央 N よりも大端面 16 側にあることにより、該比率 Δ/L が 0% 超えであるときの当該当たり位置の中心 C が転動軸の延在方向における転動面の中央 N よりも小端面 17 側にある場合と比べて、スキュー角を低減し、回転トルクの増大を抑制し得ることを確認した。

【0045】

表 1 に、上記ずれ量 Δ が 0 であるとき、すなわち内輪軌道面 13A および外輪軌道面 11A と円錐ころ 12 の転動面 12A との当たり位置の中心 C が転動軸の延在方向における転動面 12A の中央 N に位置しているときのスキュー角 θ_0 、回転トルク M_0 に対する、ずれ量 Δ を変化させたときのスキュー角 θ 、回転トルク M の各比率の計算結果を示す。なお、表 1 において、ずれ量 Δ は、ころ 12 の転動面 12A の幅 L に対するずれ量 Δ の比率 (Δ/L) として示している。また、上記当たり位置が上記中央 N よりも小端面 17 側にずれているときのずれ量を負の値で示す。スキュー角 θ_0 およびトルク M_0 は、ずれ量 Δ が 0 の時の値である。

10

20

30

【表 1】

比率 α / L (%)	-10	-5	0	5	10	15	20
スキュー角比 ϕ / ϕ_0	2	1.5	1	0.75	0.5	0.4	0.3
回転トルク比 M/M_0	1.2	1.1	1	1.03	1.05	1.1	1.2
判定	NG	NG	OK	OK	OK	OK	NG

10

20

30

表 1 に示すように、スキュー角 ϕ は、ずれ量 α に関する比率 α / L が 0 % のときよりも大径側当りとした方が小さいことが分かる。また、回転トルク M は、ずれ量 α が大きくなる程増大するが、大径側当りよりも小径側当りの方がその影響が大きい。ずれ量 α に関する上記比率 α / L が - 5 % でスキュー角は 1 . 5 倍と大きくなることから、発熱への影響が無視できなくなり、実用不可 (NG) と判定した。また、上記比率 α / L が 2 0 % 以上になると、ころ 1 2 の転動面 1 2 A におけるすべりが大きくなることで回転トルク M が増大し、別のピーリング等の不具合を引き起こすため、実用不可 (NG) と判定した。

40

【 0 0 4 6 】

以上の結果より、スキュー角 ϕ と回転トルク M とを小さくするためには、ずれ量 α に関する比率 α / L は 0 % 以上 2 0 % 未満であることが望ましい。また好ましくは、比率 α / L は 0 % を越える。さらに、比率 α / L は 0 % を越え 1 5 % 未満であってもよい。

【 0 0 4 7 】

比率 α / L が 0 % 超えとなる構成は、たとえば図 1 0 および図 1 1 に示される。図 1 0 および図 1 1 は、円錐ころ軸受において、内輪軌道面 1 3 A と転動面 1 2 A との当たり位

50

置の変更方法の例を示す断面模式図である。

【 0 0 4 8 】

図 1 0 に示されるように、ころ 1 2 の転動面 1 2 A に形成されたクラウニング、および内輪軌道面 1 3 A および外輪軌道面 1 1 A に形成されたクラウニングの各頂点の位置を相対的にずらすことにより、実現され得る。

【 0 0 4 9 】

また、比率 γ/L が 0 % 超えとなる構成は、図 1 1 に示されるように、内輪軌道面 1 3 A が内輪の軸方向に対して成す角度と、外輪軌道面 1 1 A が外輪 1 1 の軸方向に対して成す角度とを相対的に変えることにより、実現され得る。具体的には、図 1 1 中に点線で示される上記当たり位置のずれ量 Δ がゼロである場合と比べて、内輪軌道面 1 3 A が内輪 1 3 の軸方向に対して成す角度を大きくする、および外輪軌道面 1 1 A が外輪 1 1 の軸方向に対して成す角度を小さくする、の少なくともいずれかの方法により、比率 γ/L が 0 % 超えとなる構成は実現され得る。

10

【 0 0 5 0 】

円錐ころ 1 2 の転動面の形状 :

【 0 0 5 1 】

ころ 1 2 の転動面 1 2 A (図 1 参照) は、両端部に位置し、クラウニングが形成されたクラウニング部 2 2、2 4 と、このクラウニング部 2 2、2 4 の間を繋ぐ中央部 2 3 とを含む。中央部 2 3 にはクラウニングは形成されておらず、ころ 1 2 の回転軸である中心線 2 6 に沿った方向での断面における中央部 2 3 の形状は直線状である。ころ 1 2 の小端面 1 7 とクラウニング部 2 2 との間には面取り部 2 1 が形成されている。ころ 1 2 の大端面 1 6 とクラウニング部 2 4 との間にも面取り部 1 6 C が形成されている。

20

【 0 0 5 2 】

ここで、ころ 1 2 の製造方法において、窒素富化層 1 2 B を形成する処理 (浸炭窒化処理) を実施するときには、ころ 1 2 にはクラウニングが形成されておらず、ころ 1 2 の外形は図 1 2 の点線で示される加工前表面 1 2 E となっている。この状態で窒素富化層が形成された後、仕上げ加工として図 1 2 の矢印に示すようにころ 1 2 の側面が加工され、図 3 に示すように、クラウニングが形成されたクラウニング部 2 2、2 4 が得られる。

【 0 0 5 3 】

クラウニングの形状 :

30

【 0 0 5 4 】

ころ 1 2 のクラウニング部 2 2、2 4 に含まれる (中央部 2 3 に連なり内輪軌道面 1 3 A に接触する部分である) 接触部クラウニング部分 2 7 に形成されたクラウニングの形状は、以下のように規定される。すなわち、クラウニングのドロップ量の和は、ころ 1 2 の転動面 1 2 A の母線を y 軸とし、母線直交方向を z 軸とする y - z 座標系において、 K_1 、 K_2 、 z_m を設計パラメータ、Q を荷重、L をころ 1 2 における転動面 1 2 A の有効接触部の母線方向長さ、 E' を等価弾性係数、a をころ 1 2 の転動面の母線上にとった原点から有効接触部の端部までの長さ、 $A = 2 K_1 Q / L E'$ としたときに、下記の式 (3) で表される。

【 数 3 】

40

$$z(y) = A \ln \frac{1}{1 - \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{z_m}{A}\right) \right\} \left(\frac{y-a}{K_2 a} + 1 \right)^2} \quad \dots (3)$$

ころ 1 2 の転動面 1 2 A は、たとえば図 1 3 および図 1 4 に示される形状を有する。図 1 3 は本実施の形態の円錐ころ軸受に含まれる円錐ころのクラウニング形状の第 1 例を示す図である。図 1 4 は本実施の形態の円錐ころ軸受に含まれる円錐ころのクラウニング形状の第 2 例を示す図である。図 1 3 を参照して、接触部クラウニング部分 2 7 と非接触部クラウニング部分 2 8 とは、ころ軸方向に延びる母線が、互いに異なる関数で表されかつ

50

互いに接続点 P 1 で滑らかに連続する線である。上記接続点 P 1 の近傍において、非接触部クラウニング部分 2 8 の母線の曲率 R 8 を、接触部クラウニング部分 2 7 の母線の曲率 R 7 よりも小さく設定している。上記「滑らかに連続する」とは、角を生じずに連続することであり、理想的には、接触部クラウニング部分 2 7 の母線と、非接触部クラウニング部分 2 8 の母線とが、互いの連続点において、共通の接線を持つように続くことで、すなわち上記母線が上記連続点で連続的の微分可能な関数であることである。

【 0 0 5 5 】

この構成によると、ころ 1 2 の外周の転動面 1 2 A にクラウニング部を形成したため、軌道面 1 3 A のみにクラウニング部を形成する場合よりも、転動面 1 2 A に砥石を必要十分に作用させ得る。よって転動面 1 2 A に対する加工不良を未然に防止できる。転動面 1 2 A に形成したクラウニング部 2 2 , 2 4 により、面圧や接触部の応力を低減し円錐ころ軸受 1 0 の長寿命化を図ることができる。さらに、接触部クラウニング部分 2 7 と、非接触部クラウニング部分 2 8 との接続点 P 1 の近傍において、非接触部クラウニング部分 2 8 の母線の曲率 R 8 が、接触部クラウニング部分 2 7 の母線の曲率 R 7 よりも小さいため、ころ 1 2 の両端部のドロップ量の低減を図ることができる。したがって、例えば従来の円弧クラウニングのものより研削量を抑え、ころ 1 2 の加工効率の向上を図り、製造コストの低減を図ることができる。

10

【 0 0 5 6 】

上記接触部クラウニング部分 2 7 の母線は、次式で表される対数クラウニングの対数曲線により形成されている。

20

【 数 4 】

$$z(y) = A \ln \frac{1}{1 - \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{z_m}{A}\right) \right\} \left(\frac{y-a}{K_2 a} + 1 \right)^2} \quad \dots (3)$$

この対数クラウニングで表される接触部クラウニング部分 2 7 により、面圧や接触部の応力を低減し円錐ころ軸受 1 0 の長寿命化を図ることができる。

【 0 0 5 7 】

図 1 3 に示すように、上記非接触部クラウニング部分 2 8 の母線は、大径側の部分および小径側の部分のいずれか一方または両方が直線であってもよい（図 1 3 の例では大径側の部分のみ直線）。この場合、非接触部クラウニング部分 2 8 の母線を円弧とする場合よりもさらにドロップ量 D p（図 1 3 参照）の低減を図ることができる。

30

【 0 0 5 8 】

ただし、非接触部クラウニング部分 2 8 の母線は、大径側の部分および小径側の部分のいずれか一方または両方が円弧であってもよい。この場合、ころ転動面全体の母線を例えば対数曲線で表すものより、ドロップ量 D p の低減を図ることができる。したがって、研削量の低減を図れる。

【 0 0 5 9 】

接触部クラウニング部分 2 7 の母線の一部または全部が上記式（ 3 ）で示される対数クラウニングで表されてもよい。この対数クラウニングで表される接触部クラウニング部分 2 7 により、面圧や接触部の応力を低減し円すいころ軸受の長寿命化を図ることができる。

40

【 0 0 6 0 】

すなわち、たとえば図 1 4 に示すように、接触部クラウニング部分 2 7 の母線が、ころ軸方向に沿って平坦に形成されたストレート部分 2 7 A（中央部 2 3 と同義）と、対数クラウニングの対数曲線で形成された部分 2 7 B とによって表されてもよい。この場合は、接触部クラウニング部分 2 7 の母線の一部のみが上記式（ 3 ）で示される対数クラウニングの対数曲線で表される。一方、接触部クラウニング部分 2 7 の全体が対数クラウニングの対数曲線で形成された部分 2 7 B によって表されてもよい。

50

【 0 0 6 1 】

非接触部クラウニング部分 2 8 の母線は、そのうちの接触部クラウニング部分 2 7 の対数クラウニングの対数曲線で形成された部分 2 7 B との接続部が、当該対数曲線の勾配と一致されるように形成されることが好ましい。このようにすれば、接触部クラウニング部分 2 7 の母線と非接触部クラウニング部分 2 8 の母線とを、接続点でより滑らかに連続させることができる。

【 0 0 6 2 】

クラウニングの加工精度を確保するためには、ころ 1 2 の外周に、ころ全長 L_1 の $1/2$ 以上のストレート部分 2 7 A が存在することが望ましい。そこで、ころ全長 L_1 の $1/2$ をストレート部分 2 7 A とし、ころ軸方向中央を基準として、小径側の部分と大径側の部分とで対称のクラウニングであるとすれば、対数クラウニング式中の設計パラメータのうち、 K_2 は固定され、 K_1 と z_m とが設計の対象となる。

10

【 0 0 6 3 】

ところで、上記の式 (3) の K_1 、 z_m について数理的最適化手法を用いてクラウニングを最適化すると、本条件では、図 1 5 の「対数」のようなクラウニングとなる。このとき、ころ 1 2 のクラウニングの最大ドロップ量は $69 \mu\text{m}$ である。なお図 1 5 は、本実施の形態の円錐ころ軸受に含まれる円錐ころの母線方向座標とドロップ量との関係を表す図である。ところが、図 1 5 (図 1 6) 中の G の領域は、図 1 5 の内輪 1 3 の大径側の逃げ部 2 5 A および小径側の逃げ部 2 5 B と相対するクラウニング部 2 4 であり内輪 1 3 とは接触しない。このため、ころ 1 2 の上記 G の領域は、対数クラウニングである必要はなく、直線もしくは円弧あるいはその他の関数としても差し支えない。ころ 1 2 の上記 G の領域が直線、円弧、その他の関数であっても、ころ 1 2 の全体が対数クラウニングの場合と同一の面圧分布となり、機能上何ら遜色はない。

20

【 0 0 6 4 】

対数クラウニングの数理的最適化手法について説明する。

【 0 0 6 5 】

対数クラウニングを表す関数式中の K_1 、 z_m を適切に選択することによって、最適な対数クラウニングを設計することができる。

【 0 0 6 6 】

クラウニングは一般的に接触部の面圧もしくは応力の最大値を低下させるように設計する。ここでは、転動疲労寿命は *M i s e s* の降伏条件にしたがって発生すると考え、*M i s e s* の相当応力の最大値を最小にするように K_1 、 z_m を選択する。

30

【 0 0 6 7 】

K_1 、 z_m は適当な数理的最適化手法を用いて選択することが可能である。数理的最適化手法のアルゴリズムには種々のものが提案されているが、その一つである直接探索法は、関数の微係数を使用せずに最適化を実行することが可能であり、目的関数と変数が数式によって直接的に表現できない場合に有用である。ここでは、直接探索法の一つである *R o s e n b r o c k* 法を用いて K_1 、 z_m の最適値を求める。

【 0 0 6 8 】

ころ 1 2 と内輪 1 3 との接触を考える限りにおいては、図 1 5 における G の領域のクラウニングは、どのような形状でもよいが、外輪 1 1 との接触や加工時の砥石の成形性を考慮すれば、対数クラウニング部との接続点 P 1 において、対数クラウニング部の勾配より小さな勾配となることは望ましくない。G の領域のクラウニングについて、対数クラウニング部の勾配より大きな勾配を与えることは、ドロップ量が大きくなるため、これも望ましくない。すなわち、G の領域のクラウニングと対数クラウニングは、その接続点 P 1 で勾配が一致して滑らかに繋がるように設計されることが望ましい。図 1 5 において、ころ 1 2 の G の領域のクラウニングを、直線とした場合を点線にて例示し、円弧とした場合を太実線にて例示する。G の領域のクラウニングを直線とした場合、ころ 1 2 のクラウニングのドロップ量 D_p (図 1 3、図 1 4 参照) は例えば $36 \mu\text{m}$ となる。G の領域のクラウニングを円弧とした場合、ころ 1 2 のクラウニングのドロップ量 D_p は例えば $40 \mu\text{m}$ と

40

50

なる。

【 0 0 6 9 】

内輪軌道面および外輪軌道面の形状：

【 0 0 7 0 】

次に、内輪軌道面 1 3 A の母線方向の形状を図 1 6 ~ 図 1 8 に基づいて説明する。図 1 6 は内輪 1 3 の詳細形状を示す部分断面模式図である。図 1 7 は、図 1 6 の領域 X V I I の拡大模式図である。図 1 8 は、図 1 6 に示した内輪軌道面 1 3 A の母線方向の形状を示す模式図である。図 1 6 および図 1 7 では、円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 側の一部輪郭を 2 点鎖線で示す。

【 0 0 7 1 】

図 1 6 ~ 図 1 8 に示すように、内輪軌道面 1 3 A は、緩やかな円弧のフルクラウニング形状に形成され、逃げ部 2 5 A、2 5 B に繋がっている。緩やかな円弧のフルクラウニングの曲率半径 R_c は、内輪軌道面 1 3 A の両端でたとえば $5 \mu m$ 程度のドロップ量が生じる極めて大きなものである。図 1 6 に示すように、内輪軌道面 1 3 A には逃げ部 2 5 A、2 5 B が設けられているので、内輪軌道面 1 3 A の有効軌道面幅は L_G となる。

【 0 0 7 2 】

図 1 7 に示すように、大鍔面 1 8 の半径方向の外側には、大鍔面 1 8 に滑らかに接続する逃げ面 1 8 A が形成されている。逃げ面 1 8 A と円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 との間に形成される楔形隙間によって、潤滑油の引き込み作用を高め、十分な油膜を形成することができる。内輪軌道面 1 3 A の母線方向の形状は、緩やかな円弧のフルクラウニング形状を例示したが、これに限られず、ストレート形状としてもよい。

【 0 0 7 3 】

以上では、内輪 1 3 の内輪軌道面 1 3 A の母線方向の形状を説明したが、外輪軌道面 1 1 A の母線方向の形状も同様であるので、説明は繰り返さない。以上を言い換えれば、内輪 1 3 の中心軸を通る断面において、内輪軌道面 1 3 A および外輪軌道面 1 1 A は直線状または円弧状である。

【 0 0 7 4 】

ここで、円錐ころ 1 2 の転動面 1 2 A を対数クラウニング形状（中央部 2 3 はストレート形状）とすると共に、内輪軌道面 1 3 A および外輪軌道面 1 1 A をストレート形状又は緩やかな円弧のフルクラウニング形状とした本実施形態に至った検証結果を次に説明する。

【 0 0 7 5 】

自動車のトランスミッション用円錐ころ軸受（内径 3 5 mm、外径 6 2 mm、幅 1 8 mm）で、ミスアライメントがある低速条件（1 速）の場合と、ミスアライメントがない高速条件（4 速）の場合とにおける外輪軌道面 1 1 A の接触面圧と、円錐ころ 1 2 の転動面 1 2 A の有効転動面幅 L に対する接触楕円の比を検証した。検証に用いた試料を表 2 に示す。

10

20

30

【表 2】

<p>試料 1</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本実施の形態に基づくものである。 ・ 円錐ころ：対数クラウニング（中央部はストレート形状、転動面の両端ドロップ量：20～30 μm程度で大） ・ 内輪および外輪：ストレート形状又はフルクラウニング形状（ドロップ量：5 μm程度で小） 	<p>試料 2</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 円錐ころ：フルクラウニング形状（転動面の両端ドロップ量：3 μm程度で小） ・ 内輪：カッタクラウニング形状（中央部はストレート形状、内輪軌道面の両端ドロップ量：15 μm程度で大） ・ 外輪：フルクラウニング形状（外輪軌道面の両端ドロップ量：20 μm程度で大）
--	--

検証結果を表 3 に示す。

10

20

30

【表 3】

検証条件	試料	外輪軌道面の面圧 (MPa)		接触楕円 (長軸半径) / ころ有効転動面幅 LW (%)	判定
		P _{MAX}	P _{EDGE}		
ミスアライメント無 (高速条件)	試料 1	2000	なし	75	OK
	試料 2	1500	なし	55	NG
ミスアライメント有 (低速条件)	試料 1	3000	なし	78	OK
	試料 2	2500	あり	100	NG

10

20

30

ミスアライメント無しで高速条件では、荷重条件が比較的軽いため、表 3 に示すように、試料 1、試料 2 のいずれもエッジ面圧 (P_{EDGE}) の発生はない。一方、試料 2 では、外輪のフルクラウニングのドロップ量が大きく、接触楕円 (長軸半径) が短くなるので、接触領域が長い場合に比べて、当り位置の中心 C のばらつきが大きくなり、円錐ころのスキューを誘発しやすくなり、実用不可 (NG) とした。

40

【0076】

一方、ミスアライメントありで低速条件では、高荷重であるため、試料 2 では、ころ有効転動面幅 L に対する接触楕円の比は 100% となり、外輪にはエッジ面圧が発生する。さらに、エッジ当りとなることで、円錐ころの小端面側で接触駆動されるようになることから、大きなスキューを誘発してしまい、実用不可 (NG) とした。

【0077】

以上より、スキューを抑制するためには、外輪に大きなドロップ量のフルクラウニング

50

を施すことは好ましくないことが検証され、試料 1 の有意性が確認できた。

【 0 0 7 8 】

< 各種特性の測定方法 >

【 0 0 7 9 】

ころの大端面の曲率半径の測定方法：

【 0 0 8 0 】

図 6 に示したころ 1 2 の大端面 1 6 における実曲率半径 $R_{process}$ および仮想曲率半径 $R_{virtual}$ は、研削加工により実際に形成された円錐ころに対して任意の方法により測定され得るが、例えば表面粗さ測定機（例えばミットヨ製表面粗さ測定機サーフテスト SV 3 1 0 0）を用いて測定され得る。表面粗さ測定機を用いた場合には、まず回転軸を中心とする径方向に沿って測定軸を設定し、大端面の表面形状（母線方向の形状）を測定する。得られた大端面プロファイルに、上記頂点 C 1 ~ C 4 および中間点 P 5 および P 6 をプロットする。上記実曲率半径 $R_{process}$ は、プロットされた頂点 C 1、中間点 P 5 および頂点 C 2 を通る円弧の曲率半径として算出される。上記仮想曲率半径 $R_{virtual}$ は、プロットされた頂点 C 1、中間点 P 5、P 6 および頂点 C 4 を通る円弧の曲率半径として算出される。あるいは、大端面 1 6 全体の仮想曲率半径 $R_{virtual}$ は、「複数回入力」というコマンドを用いて 4 点を取った値で近似円弧曲線半径を算出することで決定してもよい。大端面 1 6 の母線方向の形状は、直径方向に 1 回の測定とした。

10

【 0 0 8 1 】

一方で、設定曲率半径 R は、実際の研削加工により得られた円錐ころの各寸法等から、例えば J I S 規格等の工業規格に基づいて見積もられる。

20

【 0 0 8 2 】

算術平均粗さ（表面粗さ）の測定方法：

【 0 0 8 3 】

ころ 1 2 の大端面 1 6 の算術平均粗さ R_a は任意の方法により測定できるが、たとえば表面粗さ測定機（例えばミットヨ製表面粗さ測定機サーフテスト SV 3 1 0 0）を用いて測定され得る。大端面の算術平均粗さ R_a は、たとえば、上記測定機のスタイラスをころ 1 2 の大端面 1 6 に接触させる方法により測定できる。また、大端面 1 6 において、大鍔面と接触する円周状の表面領域である凸部 1 6 A の算術平均粗さ R_a の最大値と最小値との差は、当該凸部 1 6 A の任意の 4 か所について表面粗さ測定機を用いて算術平均粗さ R_a を測定し、当該 4 か所の算術平均粗さの最大値と最小値との差を算出することにより求めることができる。

30

【 0 0 8 4 】

< 円錐ころ軸受の作用効果 >

【 0 0 8 5 】

本発明者は、円錐ころ軸受に関する以下の事項に着目し、上述した円錐ころ軸受の構成に想到した。

(1) 円錐ころの大端面の設定曲率半径と加工後の実曲率半径との比率

(2) 円錐ころのスキューを抑制する内外輪の軌道面の形状

(3) 円錐ころの回転面への対数クラウニングの適用

40

【 0 0 8 6 】

以下一部重複する部分もあるが、上述した円錐ころ軸受の特徴的な構成を列挙する。

【 0 0 8 7 】

本開示に従った円錐ころ軸受 1 0 は、円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 の設定曲率半径を R 、円錐ころ 1 2 の円錐角の頂点である点 O（図 3 参照）から内輪 1 3 の大鍔面 1 8 までの距離を R_{BASE} としたとき、設定曲率半径 R と距離 R_{BASE} の比率 R / R_{BASE} の値を 0 . 7 5 以上 0 . 8 7 以下とする。図 6 に示すように円錐ころ 1 2 の大端面 1 6 の研削加工後の実曲率半径を $R_{process}$ としたとき、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比率 $R_{process} / R$ が 0 . 5 以上である。

【 0 0 8 8 】

50

上述した円錐ころ軸受 10 とすれば、設定曲率半径 R と距離 R_{BASE} の比率 R / R_{BASE} の値を上述のように設定することで、円錐ころ 12 の大端面 16 と内輪 13 の大鍔面 18 との接触部において十分な油膜厚さを確保して円錐ころ 12 と大鍔面 18 との接触および摩耗の発生を抑制し、当該接触部での発熱を抑制できる。

【0089】

なお、比率 R / R_{BASE} の値については、以下の知見を参考として決定した。図 21 は、内輪 13 の大鍔面 18 と円錐ころ 12 の大端面 16 との間に形成される油膜厚さ t を、Karna の式を用いて計算した結果を示す。縦軸は、 $R / R_{BASE} = 0.76$ のときの油膜厚さ t_0 に対する油膜厚さ t の比 t / t_0 である。油膜厚さ t は $R / R_{BASE} = 0.76$ のとき最大となり、 R / R_{BASE} が 0.87 を越えると急激に減少する。

10

【0090】

図 22 は、内輪 13 の大鍔面 18 と円錐ころ 12 の大端面 16 間の最大ヘルツ応力 P を計算した結果を示す。縦軸は、図 21 と同様に、 $R / R_{BASE} = 0.76$ のときの最大ヘルツ応力 P_0 に対する比 P / P_0 で示す。最大ヘルツ応力 P は、 R / R_{BASE} の増大に伴って単調に減少する。内輪 13 の大鍔面 18 と円錐ころ 12 の大端面 16 間の迂り摩擦によるトルクロスと発熱とを低減するためには、油膜厚さ t を厚く、最大ヘルツ応力 P を小さくすることが望ましい。本発明者らは、図 21 および図 22 の計算結果を参考とし、耐焼付き試験結果および製造時の交差レンジなどを考慮して上記比率 R / R_{BASE} の条件を決定した。

【0091】

ここで、図 21 に示すように設定曲率半径 R と距離 R_{BASE} との関係は、Karna の式により油膜厚さ t との関係が一義的に決定される。しかし、 R_{BASE} が大きくなるにつれ、ころのスキュー角度が大きくなる場合がある。そのため、当該スキュー角度の影響を考慮し、比率 R / R_{BASE} の数値範囲を設定してもよい。

20

【0092】

具体的には、距離 R_{BASE} が 100 mm 以下のとき、設定曲率半径 R と距離 R_{BASE} の比率 R / R_{BASE} の値を 0.70 以上 0.90 以下としてもよい。この場合、距離 R_{BASE} が相対的に小さいため、スキューの影響が比較的小さい。そのため、図 21 に示したような Karna の式に従い油膜厚さの極大化を図っている。ただし、比率 R / R_{BASE} の値が 0.70 より小さくなると油膜厚さの低下を招く。また、当該比率 R / R_{BASE} の値が 0.90 より大きくなると急激な油膜厚さの低下を招く。

30

【0093】

また、上記距離 R_{BASE} が 100 mm を越え 200 mm 以下のとき、比率 R / R_{BASE} の値を 0.75 以上 0.85 以下としてもよい。この場合、上述した条件より上記距離 R_{BASE} が相対的に大きくなっているため、スキューの影響を無視できない。そのため、上述した条件より比率 R / R_{BASE} の値の範囲を限定することが好ましい。したがって、比率 R / R_{BASE} の値について 0.8 を中央値とし下限を 0.75 、上限を 0.85 とした。

【0094】

また、上記距離 R_{BASE} が 200 mm を越え 300 mm 以下のとき、比率 R / R_{BASE} の値を 0.77 以上 0.83 以下としてもよい。この場合、上述した条件より上記距離 R_{BASE} が相対的に大きくなっているため、スキューの影響がより大きくなっている。そのため、上述した条件より比率 R / R_{BASE} の値の範囲をさらに限定することが好ましい。したがって、比率 R / R_{BASE} の値について 0.8 を中央値とし下限を 0.77 、上限を 0.83 とした。

40

【0095】

なお、ここでは図 21 に示したように Karna の式を用いて比率 R / R_{BASE} と油膜厚さとの関係を特定しているが、当該関係に影響を及ぼす因子としては軸受の回転速度や荷重、潤滑油の粘度などの軸受の使用条件が考えられる。発明者が検討したところ、このような他の因子を総合的に考慮すると比率 R / R_{BASE} の値が 0.8 程度であれば、平均的に最も油膜厚さが十分に維持できる。そのため、上述したように上記比率 R / R_{BASE} の値に

50

ついては 0.8 を中央値としてその範囲を決定している。

【0096】

また、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比率 $R_{process} / R$ の値を上述のように設定することで、円錐ころ 12 の大端面 16 と内輪 13 の大鍔面 18 との接触面圧を低減できる。さらに、円錐ころ 12 のスキューを抑制し大端面 16 と大鍔面 18 との接触部での油膜厚さを安定して確保することができる。

【0097】

さらに、円錐ころ 12 の大端面 16 において大鍔面 18 と接触する円周状の表面領域（凸部 16A）の算術平均粗さ R_a の最大値と最小値との差を $0.02 \mu m R_a$ 以下とすることで、大端面 16 の円周状の表面領域の算術平均粗さ R_a のばらつきを十分小さくでき、上記比率 R / R_{BASE} の数値範囲および比率 $R_{process} / R$ の数値範囲との相乗効果により、結果的に上記接触部における十分な油膜厚さを確保できる。このため、上記接触部における発熱を安定的に抑制でき耐焼付き性が向上された円錐ころ軸受 10 を得ることができる。

【0098】

さらに、大鍔面 18 の算術平均粗さ R_a が $0.1 \mu m R_a$ 以上 $0.2 \mu m R_a$ 以下であり、大鍔面 18 の粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が -1.0 以上 -0.3 以下であり、大鍔面 18 の粗さ曲線のクルトシス R_{ku} は 3.0 以上 5.0 以下である。以上のように大鍔面 18 の算術平均粗さ R_a 、粗さ曲線のスキューネス R_{sk} および粗さ曲線のクルトシス R_{ku} を調整することにより、円錐ころ軸受 10 の回転トルクの安定化と耐焼付き性と

【0099】

当該円錐ころ軸受 10 においては、円錐ころ 12 の大端面 16 の粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が 2 以上 7 以下であり、大端面 16 の粗さ曲線のクルトシス R_{ku} は -1 以上 1 以下であることが好ましい。特にクルトシス R_{ku} について、上記数値範囲より小さければ、ころ 12 の大端面 16 と内輪 13 の大鍔面 18 との接触面が過剰に広がる。また特にスキューネス R_{sk} について、上記数値範囲より小さければ、回転トルクが必要以上に低くなるという問題が生じる。また特にクルトシス R_{ku} について、上記数値範囲より大きければ、大端面 16 の尖度が過剰に大きくなる。また特にスキューネス R_{sk} について、上記数値範囲より大きければ、耐焼付き性が劣ってしまうという問題が生じる。このためスキューネスおよびクルトシスが上記数値範囲より小さくても大きくても、油膜の形成に不利になる。したがってスキューネスおよびクルトシスを上記の数値範囲内とすることにより、大端面 16 と大鍔面 18 との接触部における十分な油膜厚さを確保できる。よって上記接触部における発熱を安定的に抑制でき耐焼付き性が向上された円錐ころ軸受 10 を得ることができる。

【0100】

以上に述べた粗さ特性を有する内輪 13 の大鍔面 18 を加工するために研削仕上げ加工を用いれば、粗さの規定範囲が細かすぎ加工抵抗が大きくなりすぎるため、大鍔面 18 などに研削焼けなどの不具合が生じる可能性があり、当該加工を行なうことは困難である。そこで上記の粗さ特性を有する内輪 13 の大鍔面 18 を加工する際には、たとえば 0.5 秒以上 2 秒以下の超短時間で超仕上げ加工を施すことが好ましい。

【0101】

一方、ころ 12 の大端面 16 の粗さは内輪 13 の大鍔面 18 の粗さよりも、円錐ころ軸受 10 の機能に与える影響が少ない。このためころ 12 の大端面 16 の粗さの条件は大鍔面 18 よりも緩やかである。具体的には、良好な潤滑油のくさび効果を得る観点から、ころ 12 の大端面 16 の算術平均粗さ R_a を $0.1 \mu m R_a$ 以下とすればよい。また、ころ 12 の大端面 16 と内輪 13 の大鍔面 18 とは、理想的には、球面と平面との接触関係である時、特に良好な耐焼付き性を実現することができる。そのため、大鍔面 18 が凹凸を有する母線形状である場合、当該大鍔面 18 の凹凸の高さの最大値は $1 \mu m$ 以下であることが好ましい。

【0102】

上記円錐ころ軸受10では、内輪13の中心軸を通る断面において、内輪軌道面13Aおよび外輪軌道面11Aは直線状または円弧状であってもよい。円錐ころ12の転動面12Aにはクラウニングが形成されてもよい。クラウニングのドロップ量の和は、円錐ころ12の転動面の母線をy軸とし、母線直交方向をz軸とするy-z座標系において、 K_1 、 K_2 、 z_m を設計パラメータ、Qを荷重、Lを円錐ころ12における転動面12Aの有効接触部の母線方向長さ、 E' を等価弾性係数、aを円錐ころ12の転動面12Aの母線上にとった原点から有効接触部の端部までの長さ、 $A = 2K_1Q / LE'$ としたときに、式(3)で表されてもよい。

【数5】

$$z(y) = A \ln \frac{1}{1 - \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{z_m}{A}\right) \right\} \left(\frac{y-a}{K_2 a} + 1 \right)^2} \quad \dots(3)$$

この場合、ころ12の転動面12Aに上記式(3)によりドロップ量の和が表されるような、輪郭線が対数関数で表されるクラウニング(いわゆる対数クラウニング)を設けているので、従来の部分円弧で表されるクラウニングを形成した場合より局所的な面圧の上昇を抑制でき、ころ12の転動面12Aにおける摩耗の発生を抑制できる。

【0103】

また、内輪13の中心軸を通る断面において、内輪軌道面13Aおよび外輪軌道面11Aが直線状または円弧状となっており、円錐ころ12の転動面12Aは中央部がたとえばストレート面となっており当該ストレート面に連なっている対数クラウニングが設けられているので、円錐ころ12の転動面12Aと内輪軌道面13Aおよび外輪軌道面11Aとの接触領域の寸法(たとえば接触楕円の長軸寸法)を長くすることができ、結果的にスキューを抑制できる。さらに、内輪軌道面13Aまたは外輪軌道面11Aと転動面12Aとの当たり位置のばらつきを小さくできる。

【0104】

また、上述のように転動面12Aと内輪軌道面13Aおよび外輪軌道面11Aとの接触領域の寸法(たとえば接触楕円の長軸寸法)を長くすると、モーメント荷重が作用するような使用条件ではころに従来のようなフルクラウニングを形成している場合、母線方向の端部においてエッジ面圧が発生する恐れがある。しかし上記円錐ころ軸受10では円錐ころ12に対数クラウニングが適用されているため、必要な接触領域の寸法を確保しつつ、このようなエッジ面圧の発生を抑制できる。

【0105】

ここで、上述した対数クラウニングの効果についてより詳細に説明する。図23は、輪郭線が対数関数で表されるクラウニングを設けたころの輪郭線と、ころの転動面における接触面圧を重ねて示した図である。図24は、部分円弧のクラウニングとストレート部との間を補助円弧としたころの輪郭線と、ころの転動面における接触面圧を重ねて示した図である。図23および図24の左側の縦軸は、クラウニングのドロップ量(単位: mm)を示している。図23および図24の横軸は、ころにおける軸方向での位置(単位: mm)を示している。図23および図24の右側の縦軸は、接触面圧(単位: GPa)を示している。

【0106】

円錐ころの転動面の輪郭線を部分円弧のクラウニングとストレート部とを有する形状に形成した場合、図24に示すように、ストレート部、補助円弧及びクラウニング相互間の境界における勾配が連続であっても、曲率が不連続であると接触面圧が局所的に増加する。そのため、油膜切れや表面損傷を招く恐れがある。十分な膜厚の潤滑膜が形成されない場合、金属接触による摩耗が生じやすくなる。接触面に部分的に摩耗が生じると、その近辺で、より金属接触が生じやすい状態となるため、接触面の摩耗が促進され、円錐ころ

10

20

30

40

50

が損傷に至る不都合が生じる。

【0107】

そこで、接触面としての円錐ころの転動面に、輪郭線が対数関数で表されるクラウニングを設けた場合、例えば図23に示すように、図24の部分円弧で表されるクラウニングを設けた場合と比べて局所的な面圧が低くなり、接触面に摩耗を生じ難くすることができる。したがって、円錐ころの転動面上に存在する潤滑剤の微量化や低粘度化により潤滑膜の膜厚が薄くなる場合においても、接触面の摩耗を防止し、円錐ころの損傷を防止することができる。なお、図23及び図24には、ころの母線方向を横軸とすると共に母線直交方向を縦軸とする直交座標系に、内輪又は外輪ところの有効接触部の中央部に横軸の原点Oを設定してころの輪郭線を示すと共に、面圧を縦軸として接触面圧を重ねて示している。

10

【0108】

上記円錐ころ軸受10では、円錐ころ12の転動軸の延在方向における転動面の幅をL、内輪軌道面13Aと転動面12Aとの当たり位置の、上記延在方向における転動面12Aの中心Nから大端面16側へのずれ量を Δ としたとき、幅Lとずれ量 Δ との比率 Δ/L が0%以上20%未満であってもよい。異なる観点から言えば、当該当たり位置が、転動軸の延在方向における転動面12Aの中央位置または該中央位置よりも大端面16側にあることが好ましい。この場合、当該当たり位置が転動軸の延在方向における転動面の中央位置よりも小端面側にある場合と比べて、ころにスキューを発生させる接線力の発生位置

20

【0109】

上記円錐ころ軸受10では、内輪13において、内輪軌道面13Aと大鏝面18とが交わる隅部には逃げ部25Aが形成されていてもよい。この場合、円錐ころ12の転動面12Aにおける大端面16側の端部が逃げ部25Aに位置することで、当該端部が内輪13と接触することを防止できる。

【0110】

上記円錐ころ軸受10において、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比率 $R_{process}/R$ が0.8以上であってもよい。円錐ころ軸受10が極めて厳しい潤滑環境下で使用された場合、上記比率 $R_{process}/R$ を0.8以上とすることで、円錐ころ12の大端面16と内輪13の大鏝面18との接触部における油膜厚さを十分に厚くできる。

30

【0111】

上記円錐ころ軸受10において、円錐ころ12の大端面16の算術平均粗さ R_a が $0.10 \mu m$ R_a 以下であってもよい。この場合、円錐ころ12の大端面16と内輪13の大鏝面18との接触部における油膜厚さを十分に確保できる。

【0112】

ここで、円錐ころ12のスキュー角と比率 R/R_{BASE} との関係について検討する。比率 R/R_{BASE} は、円すいころ12の大端面16が、設定した理想的な球面（加工誤差を含まない）での接触状態であることを条件とする。比率 R/R_{BASE} と円錐ころ12のスキュー角との関係を表4に示す。

40

【表4】

比率 R/R_{BASE} (%)	1	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75
スキュー角度	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15

表4に示すように、ころの R/R_{BASE} 比が小さくなる程、スキュー角は大きくなる。一方、すでに説明した図4のころ12の大端面16の曲率半径 R は大端面16が理想的な球面でできていた時の曲率半径であり、大端面16は図5に示すように $R_{152} = R_{364} = R_{1564}$ という条件が成り立つ、理想的な単一円弧曲線となる。しかし、実際には図

50

6に示すように円錐ころ12の大端面16は、円錐ころ12の円錐角の頂点を中心とする1つの球面の一部とならない。図6に示すように、大端面16全体のR1564に対して片側のR152は同一ではなく、R1564より小さくなる。

【0113】

図6に示すようにころ12の大端面16における両端面がダレた場合、大端面16と内輪13の大鍔面18とは大端面16の片側(凸部16A)においてしか接触しない。このため、計算上の大端面16のR寸法はR152(図6の実曲率半径 $R_{process}$)となり、理想的なR寸法(設定曲率半径R)に対して小さくなる(比率 $R_{process}/R$ が小さくなる)。この結果、大鍔面18と大端面16との接触面圧が上昇すると同時にスキュー角も増加する。スキュー角が増大すると、ころ12と大鍔面18との接触部で生じる接触楕円が大鍔面18をはみ出すことで油膜が切れ、結果的にかじり疵や焼付きが発生する場合がある。

10

【0114】

ここで、潤滑状態が十分ではない環境下では、ころ12のスキュー角が増加し、更に大鍔面18と大端面16との接触部における接触面圧も上昇すると、ころ12と大鍔面18間の油膜パラメータが低下する。油膜パラメータが1を切ると金属接触が始まる境界潤滑となる。この結果、ころ12の大端面16と内輪の大鍔面18との接触部では摩耗が生じ始め、この状態が続くと更に摩耗が促進され、焼付きの発生の懸念が高まる。

【0115】

ここで、油膜パラメータとは「弾性流体潤滑理論により求まる油膜厚さ h ところの大端面および内輪の大鍔面の二乗平均粗さの合成粗さとの比」で定義される。すなわち油膜パラメータ $= h /$ である。また、算術平均粗さ R_a と自乗平均粗さ R_q には一般に $R_q = 1.25 R_a$ の関係があり、ころの大端面の自乗平均粗さを R_{q1} と、大鍔面の自乗平均粗さを R_{q2} とすると、合成粗さはこの R_q を用いて、 $= ((R_{q1}^2 + R_{q2}^2) / 2)$ と表せる。

20

【0116】

油膜パラメータは合成粗さに依存し、の値が小さいほど油膜厚さを厚くすることができる。このため、ころ12の大端面16と内輪13の大鍔面18の算術平均粗さは超仕上げ相当の粗さであり、の値は $0.09 \mu m R_q$ 以下であることが望ましい。

【0117】

上述した研削加工に伴う、設定曲率半径Rと円錐ころの大端面の曲率半径(実曲率半径 $R_{process}$)の差による影響についての検討結果より、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径Rとの比に着目し、大端面と大鍔面との接触面圧、油膜厚さ、スキュー角、油膜パラメータとの関係を検証した。さらに、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径Rとの比の実用可能な範囲の検証には、すべり接触となる内輪の大鍔面と円錐ころの大端面との間の潤滑油使用温度のピーク時における潤滑状態の厳しさのレベルが影響することが判明した。

30

【0118】

このため、内輪の大鍔面と円錐ころの大端面との間の潤滑油使用温度のピーク時における潤滑状態の厳しさのレベルを表す指標を次のように検討した。

(1)内輪の大鍔面と円錐ころの大端面との間の潤滑状態は、円錐ころの大端面の曲率半径(実曲率半径 $R_{process}$)と潤滑油の使用温度により決まることに着目した。

40

(2)また、トランスミッションやデファレンシャル用途で想定される使用潤滑油粘度に着目し、実用使用を加味し検討した。

(3)そして、潤滑油使用温度のピーク時の最大条件として、120で3分(180秒)間継続する極めて厳しい温度条件を想定した。この温度条件は、ピーク時の最大条件であり、おおよそ3分を経過すれば、定常状態に戻るという意味を有し、この温度条件を本明細書において「想定ピーク温度条件」という。この「想定ピーク温度条件」に潤滑油の粘度特性を加味した潤滑状態において急昇温を生じない実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径Rとの比を設定するための閾値が求められることを見出した。

【0119】

50

以上の知見に基づいて、「想定ピーク温度条件」に潤滑油の粘度を加味した潤滑状態により、潤滑状態の厳しさのレベルを表す指標が次式で求められることを考案した。この指標を本明細書において「つば部潤滑係数」という。

「つば部潤滑係数」 = 120 粘度 × (油膜厚さ h)² / 180 秒

ここで、油膜厚さ h は、たとえば、Karna の以下の式から求められる。

【数6】

$$h = 1.64 \times 10^{-3} (\eta_o \bar{u})^{0.74} R_x^{0.41} w^{-0.074} \quad \dots (4)$$

R_x : 運動方向の等価曲率半径

\bar{u} : 平均速度

w : 荷重

η_o : 常圧粘度

10

ここで、今回設定した「つば部潤滑係数」は、円錐ころ軸受のつば部潤滑限度を判明できる絶対評価指標値であると言える。自動車用途での上記とは別の条件での使用、または自動車以外の他の用途で使用される場合においては、潤滑油の最高温度、粘度または想定ピーク温度条件を適宜変更して「つば部潤滑係数」を算出し、後述する閾値と比較し潤滑状態の厳しさを判別できる。さらには、内輪の大鍔面が本発明のような概略直線ではなく曲面（中凹側）であったとしても、その曲面である内輪の大鍔面ところの大端面とで構成される幾何形状組合せにより算出される油膜厚さで「つば部潤滑係数」を導けば後述の閾値と比較し判別できる。すなわち、本明細書において、「つば部潤滑係数」は、油膜厚さ使用条件に基づいた絶対評価として表される円錐ころ軸受の潤滑状態の厳しさを評価した指標値である。本発明者は、円錐ころ軸受の耐焼き付き性を向上するために、円錐ころの大端面の最適な曲率半径と加工後の実曲率半径との比率を規定するとの新たな着想に至り、当該比率の最適化にあたっては、前述の通り実使用で絶対評価を可能とした「つば部潤滑係数」を導入して評価を行なった。この評価によって、用途を限らない円錐ころ軸受の耐焼付け性向上に寄与する上記比率の規定を一般化し導き出すことができた。

20

次に、本発明の実施の形態の変形例に係る円錐ころ軸受を説明する。本実施の形態の変形例に係る円錐ころ軸受は、一般的な円錐ころ軸受に比べて、「想定ピーク温度条件」に潤滑油の粘度特性を加味した潤滑状態の厳しさのレベルが、若干緩和されたレベルで使用されることと、円錐ころの大端面の実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比の実用可能な範囲が拡大された点が異なる。その他の構成及び技術内容については、上述した実施の形態に係る円錐ころ軸受と同じであるので、上述した実施の形態に係る円錐ころ軸受に関する説明のすべての内容を準用し、相違する点のみ説明する。

30

【0120】

本実施の形態の変形例に係る円錐ころ軸受では、デファレンシャルによく使用されるギヤオイルである SAE 75W-90 を試料とし、「つば部潤滑係数」を算出した。75W-90 の 120 粘度は 10.3 cSt (= 10.3 mm² / s) で、式(2)より求めた油膜厚さ h は、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比の各値に対して表5のとおりである。

40

【表 5】

実曲率半径 R_{process} と設定曲率半径 R との比 R_{process}/R	1.0
油膜厚さ h ($\times 10^{-4}$ mm)	6.122
	0.9
	6.137
	0.8
	5.983
	0.7
	5.725
	0.5
	4.999
	0.4
	4.419

10

20

30

75W-90の120 粘度は、VG32に比べて若干高く、「想定ピーク温度条件」に潤滑油の粘度特性を加味した潤滑状態は、上述した実施の形態の場合に比べて若干緩和された条件となる。この潤滑状態を本明細書において「厳しい潤滑状態」という。

40

【0121】

本発明の実施の形態の変形例に係る円錐ころ軸受について、回転試験機を用いた耐焼付き試験を実施した。耐焼付き試験の試験条件は以下のとおりである。

< 試験条件 >

- ・ 負荷荷重：ラジアル荷重 4000 N、アキシャル荷重 7000 N
- ・ 回転数：7000 min^{-1}
- ・ 潤滑油：SAE 75W-90
- ・ 供試軸受：円錐ころ軸受（内径 35 mm、外径 74 mm、幅 18 mm）

【0122】

50

実曲率半径 R_{process} と設定曲率半径 R との比の各値に対して、大端面と大鏝面との接触面圧、油膜厚さ、スキュー角、油膜パラメータ、「つば部潤滑係数」の結果を表 6 に示す。表 6 は接触面圧、油膜厚さ、スキュー角、油膜パラメータのそれぞれを比で表しているが、基準となる分母は、実曲率半径 R_{process} が設定曲率半径 R と同一寸法に加工できた場合の値とし、各符号に 0 を付加している。

【表 6】

実曲率半径 R_{process} と設定曲率半径 R との比 R_{process}/R	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0
大端面と大つば面との接触面圧比 p/p_0	2.7	2.2	1.6	1.4	1.2	1
油膜厚さ比 h/h_0	0.72	0.82	0.94	0.98	1.00	1.00
スキュー角度比 ϕ/ϕ_0	8	5	3	1.5	1.2	1
油膜パラメータ比 Λ/Λ_0	0.72	0.82	0.94	0.98	1.00	1.00
つば部潤滑係数 ($\times 10^{-9}$)	12.2	14.4	18.8	20.5	21.6	21.4
試験結果	(1) A	(2) A	(3) A	(4) A	(5) A	(6) A
総合判定	(1) C	(2) A	(3) A	(4) A	(5) A	(6) A

表 6 中の試験結果 (1) ~ (6)、総合判定 (1) ~ (6) の詳細を表 7 に示す。

10

20

30

40

【表 7】

試験結果	(1) A 特に大きな変化点は認められない。	(2) A 同左	(3) A 同左	(4) A 同左	(5) A 同左	(6) A 同左
総合判定	(1) C 「つば部潤滑係数」が 8×10^{-9} を大きく超え十分な油膜が形成されているが、スキュー角が大きいことから、軸受回転中のころの拳動不安定さを懸念し、不可(C)とした。	(2) A スキュー角が若干大きい、「つば部潤滑係数」が 8×10^{-9} を大きく超え十分な油膜が形成されていることから、急激な損傷に発展せず実用可能と判断し、良(A)とした。	(3) A 「つば部潤滑係数」が 8×10^{-9} を大きく超え十分な油膜が形成され、スキュー角も小さく安定した回転で、継続使用に全く問題ないことから、良(A)とした。	(4) A 同左	(5) A 同左	(6) A 同左

10

20

30

40

50

表6および表7の結果より、デファレンシャル等のギヤオイルである75W-90が使用される「厳しい潤滑状態」では、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process}/R$ は、0.5以上であることが望ましいという結論に至った。したがって、本実施の形態は、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process}/R$ を0.5以上としている。このように、潤滑状態の厳しさのレベルを表す指標として「つば部潤滑係数」を導

入ることにより、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比の実用可能な範囲を拡大することができる。これにより、使用条件に応じて、適正な軸受仕様を選定することができる。

【0123】

ただし、本実施形態の円錐ころ軸受は、デファレンシャル用途に限定されるものではなく、トランスミッションやその他の「厳しい潤滑状態」の用途に適用することができる。

【0124】

実用可能な実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比を設定する際、閾値近辺のみを試験確認してもよい。これにより、設計工数を削減できる。なお、表6の「厳しい潤滑状態」では、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process} / R$ が0.4の場合でも十分な「つば部潤滑係数」が得られたが、表6よりも若干粘度の低い潤滑油を使用するような「厳しい潤滑状態」において、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process} / R$ が0.4の場合では、閾値 8×10^{-9} 以上を満足しない可能性が考えられ、かつ、スキュー角も大きくなってしまいうため、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process} / R$ としては0.5以上が適正である。

10

【0125】

また、本発明の実施の形態の他の変形例に係る円錐ころ軸受について、トランスミッションによく使用される潤滑油であるタービン油ISO粘度グレードVG32を試料とし、「つば部潤滑係数」を算出した。VG32の120 粘度は $7.7 \text{ cSt} (= 7.7 \text{ m}^2 / \text{s})$ で、油膜厚さ h は式(2)より求めた。実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比の各値に対して、油膜厚さ h は表8のとおりである。

20

【表 8】

実曲率半径 R_{process} と設定曲率半径 R との比 R_{process}/R 油膜厚さ $h(\times 10^{-4}\text{mm})$	1.0	4.632
	0.9	4.624
	0.8	4.527
	0.7	4.332
	0.5	3.782
	0.4	3.343

10

20

30

VG32の120 粘度は低く、「想定ピーク温度条件」に潤滑油の粘度を加味した潤滑状態は極めて厳しい条件となる。この潤滑状態を本明細書において「極めて厳しい潤滑状態」という。

40

【0126】

併せて、回転試験機を用いた耐焼付き試験を実施した。耐焼付き試験の試験条件は以下のとおりである。

< 試験条件 >

- ・ 負荷荷重：ラジアル荷重 4000 N、アキシャル荷重 7000 N
- ・ 回転速度：7000 min^{-1}
- ・ 潤滑油：タービン油 ISO VG32
- ・ 供試軸受：円錐ころ軸受（内径 35 mm、外径 74 mm、幅 18 mm）

【0127】

50

実曲率半径 R_{process} と設定曲率半径 R との比の各値に対して、大端面と大銑面との接触面圧、油膜厚さ、スキュー角、油膜パラメータ、「つば部潤滑係数」の結果を表 9 に示す。表 9 は接触面圧、油膜厚さ、スキュー角、油膜パラメータのそれぞれを比で表しているが、基準となる分母は、実曲率半径 R_{process} が設定曲率半径 R と同一寸法に加工できた場合の値とし、各符号に 0 を付加している。

【表 9】

実曲率半径 R_{process} と設定曲率半径 R との比 R_{process}/R	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0
大端面と大つば面との接触面圧比 p/p_0	2.7	2.2	1.6	1.4	1.2	1
油膜厚さ比 h/h_0	0.72	0.82	0.94	0.98	1.00	1.00
スキュー角度比 ϕ/ϕ_0	8	5	3	1.5	1.2	1
油膜パラメータ比 Λ/Λ_0	0.72	0.82	0.94	0.98	1.00	1.00
つば部潤滑係数 ($\times 10^{-9}$)	4.78	6.12	8.03	8.77	9.14	9.18
試験結果	(1) C	(2) B	(3) B	(4) A	(5) A	(6) A
総合判定	(1) C	(2) C	(3) B	(4) A	(5) A	(6) A

表 9 中の試験結果 (1) ~ (6)、総合判定 (1) ~ (6) の詳細を表 10 に示す。

10

20

30

40

【表 10】

試験結果	(1) C 急昇温した。	(2) B ころ大端面と内輪 大つば面で強い当 たりが認められた。	(3) B 同左	(4) A 特に大きな変化点 は認められない。	(5) A 同左	(6) A 同左
総合判定	(1) C 「つば部潤滑係数」 が低く、強く当たり、 スキュー角が大き いたため、不可(C)とし た。	(2) C 「つば部潤滑係数」 が低く、強い当たり となり、スキュー角 も若干大きいことが ら、軸受回転中のこ ろの挙動不安定さ を懸念し、不可(C)と した。	(3) B 「つば部潤滑係数」 が低く、強く当たる が、スキュー角が概 ね小さくなり、直ちに 急激な損傷に発展 しないと判断し、可 (B)とした。	(4) A 「つば部潤滑係数」 が 8×10^{-9} を超え 十分な油膜が形成 され、スキュー角も 小さく安定した回転 で、継続使用に全く 問題ないことから、 良(A)とした。	(5) A 同左	(6) A 同左

10

20

30

40

表9、表10の結果より、トランスミッションオイルである低粘度のVG32が使用される「極めて厳しい潤滑状態」では、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process}/R$ は、0.8以上であることが望ましいという結論に至った。したがって、本実施の形態の他の変形例に係る円錐ころ軸受では、実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process}/R$ を0.8以上としている。

50

【0128】

ただし、上述した円錐ころ軸受は、トランスミッション用途に限定されるものではなく、デファレンシャルやその他の「極めて厳しい潤滑状態」の用途に適用することができる。

【0129】

表9、表10の結果から次のことが判明した。算出した「つば部潤滑係数」と耐焼付き試験の結果を照合すると、「つば部潤滑係数」が 8×10^{-9} を超えるように実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process}/R$ を設定すると実用可能であることが確認できた。これにより、実用可能な実曲率半径 $R_{process}$ と設定曲率半径 R との比 $R_{process}/R$ を設定するための閾値として「つば部潤滑係数」 $= 8 \times 10^{-9}$ を用いることができる。

10

【0130】

次に、内輪13の大鍔面18の算術平均粗さ R_a 、粗さ曲線のスキューネス R_{sk} 、及び粗さ曲線のクルトシス R_{ku} の様々な組み合わせにおいて、上述の昇温試験及び回転トルク試験に準じて評価した結果を表11～表14に示す。なお各表中、「 \square 」印は非常に良好であることを示し、「 \circ 」印は良好であることを、「 \square 」印は良好ではないが不良ではないことを、「 \times 」印は不良であることを示す。

【表11】

$R_a(\mu m)$	R_{sk}	R_{ku}	耐焼付き性	トルクの安定性
0.05	-3.0	6.0	◎	×
		4.0		
		2.0		
	-2.0	6.0	◎	×
		4.0		
		2.0		
	-1.0	6.0	◎	×
		4.0		
		2.0		
	-0.2	6.0	◎	×
		4.0		
		2.0		
-0.1	6.0	◎	×	
	4.0			
	2.0			

20

30

【表 1 2】

Ra(μ m)	Rsk	Rku	耐焼き付き性	トルクの安定性
0.1	-3.0	6.0	×	○
		4.0	△	○
		2.0	△	×
	-2.0	6.0	×	○
		4.0	△	○
		2.0	△	×
	-1.0	6.0	×	○
		4.0	○	○
		2.0	○	×
	-0.2	6.0	△	○
		4.0	△	△
		2.0	○	×
	-0.1	6.0	×	○
		4.0	×	○
		2.0	△	×

10

【表 1 3】

Ra(μ m)	Rsk	Rku	耐焼き付き性	トルクの安定性
0.2	-3.0	6.0	×	○
		4.0	△	○
		2.0	○	△
	-2.0	6.0	×	○
		4.0	△	○
		2.0	○	△
	-1.0	6.0	×	○
		4.0	○	○
		2.0	○	△
	-0.2	6.0	△	○
		4.0	△	△
		2.0	△	△
	-0.1	6.0	×	○
		4.0	△	△
		2.0	△	△

20

30

【表 1 4】

Ra(μm)	Rsk	Rku	耐焼き付き性	トルクの安定性
0.25	-3.0	6.0	×	◎
		4.0		
		2.0		
	-2.0	6.0	×	◎
		4.0		
		2.0		
	-1.0	6.0	×	◎
		4.0		
		2.0		
	-0.2	6.0	×	◎
		4.0		
		2.0		
-0.1	6.0	×	◎	
	4.0			
	2.0			

10

表 1 1 に示すように、大鍔面における算術平均粗さ R_a が $0.05 \mu\text{m}$ の場合、大鍔面が特に滑らかな表面性状に仕上げられているので、大鍔面における粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が -1.0 以上 -0.3 以下の範囲にあるか否かを問わず、また、粗さ曲線のクルトシス R_{ku} が 3.0 以上 5.0 以下の範囲にあるか否かを問わず、耐焼付き性が特に良好になる一方、トルクの安定性が特に悪くなることが分かる。

20

【0131】

表 1 2 および表 1 3 に示すように、大鍔面における算術平均粗さ R_a が $0.1 \mu\text{m}$ 又は $0.2 \mu\text{m}$ の場合、 $R_a = 0.05$ の場合に比べて、耐焼付き性が悪化傾向を示し、トルクの安定性が改善傾向を示す。ここで、大鍔面における粗さ曲線のスキューネス $R_{sk} < -1.0$ の場合、油膜が形成されにくく、耐焼付き性に不利となることが分かる。一方、大鍔面における粗さ曲線のスキューネス $R_{sk} > -0.3$ の場合、以下に示す大鍔面における粗さ曲線のクルトシス R_{ku} の特性との兼ね合いによって、耐焼付き性とトルクの安定性とを両立することができない。また、大鍔面における粗さ曲線のクルトシス $R_{ku} < 3$ の場合、油膜が出来過ぎて、トルクの安定性に不利となることが分かる。一方、大鍔面における粗さ曲線のクルトシス $R_{ku} > 5$ の場合、表面の微小な山々が尖り過ぎてころ大端面と金属接触し易く、油膜が出来にくくなって、耐焼付き性に不利となることが分かる。

30

【0132】

表 1 4 に示すように、大鍔面における算術平均粗さ R_a が $0.25 \mu\text{m}$ の場合、表 1 2 および表 1 3 に比べてさらに耐焼付き性が悪く、トルクの安定性が良い結果となっている。具体的には、大鍔面における粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が -1.0 以上 -0.3 以下の範囲にあるか否かを問わず、また、粗さ曲線のクルトシス R_{ku} が 3.0 以上 5.0 以下の範囲にあるか否かを問わず、耐焼付き性が特に悪くなる一方、トルクの安定性が特に良好になることが分かる。

40

【0133】

したがって上記のように、本件発明品は大鍔面 1 8 の算術平均粗さ R_a は $0.1 \mu\text{m}$ $R_a = 0.2 \mu\text{m}$ である場合、大鍔面 1 8 の粗さ曲線のスキューネス R_{sk} が -1.0 $R_{sk} > -0.3$ であり、大鍔面 1 8 の粗さ曲線のクルトシス R_{ku} が 3.0 $R_{ku} < 5.0$ であれば、耐焼付き性とトルクの安定性の両立を図ることが可能であると分かる。

【0134】

<円錐ころ軸受の製造方法>

50

【 0 1 3 5 】

図 2 5 は、図 1 に示した円錐ころ軸受の製造方法を説明するためのフローチャートである。図 2 6 は、図 2 5 の熱処理工程における熱処理パターンを示す模式図である。図 2 7 は、図 2 6 に示した熱処理パターンの変形例を示す模式図である。以下、円錐ころ軸受 1 0 の製造方法を説明する。

【 0 1 3 6 】

図 2 5 に示すように、まず部品準備工程 (S 1 0 0) を実施する。この工程 (S 1 0 0) では、外輪 1 1、内輪 1 3、ころ 1 2、保持器 1 4 などの軸受部品となるべき部材を準備する。なお、ころ 1 2 となるべき部材には、まだクラウニングは形成されておらず、当該部材の表面は図 1 2 の点線で示した加工前表面 1 2 E となっている。

10

【 0 1 3 7 】

次に、熱処理工程 (S 2 0 0) を実施する。この工程 (S 2 0 0) では、上記軸受部品の特性を制御するため、所定の熱処理を実施する。たとえば、外輪 1 1、ころ 1 2、内輪 1 3、のすくなくともいずれか 1 つにおいて本実施形態に係る窒素富化層 1 1 B、1 2 B、1 3 B を形成するため、浸炭窒化処理または窒化処理と、焼入れ処理、焼戻処理などを行う。この工程 (S 2 0 0) における熱処理パターンの一例を図 2 6 に示す。図 2 6 は、1 次焼入れおよび 2 次焼入れを行う方法を示す熱処理パターンを示す。図 2 7 は、焼入れ途中で材料を A_1 変態点温度未満に冷却し、その後、再加熱して最終的に焼入れる方法を示す熱処理パターンを示す。これらの図において、処理 T_1 では鋼の素地に炭素や窒素を拡散させまた炭素の溶け込みを十分に行なった後、 A_1 変態点未満に冷却する。次に、図中の処理 T_2 において、処理 T_1 よりも低温に再加熱し、そこから油焼入れを施す。その後、たとえば加熱温度 1 8 0 の焼き戻し処理を実施する。

20

【 0 1 3 8 】

上記の熱処理によれば、普通焼入れ、すなわち浸炭窒化処理に引き続いてそのまま 1 回焼入れするよりも、軸受部品の表層部分を浸炭窒化しつつ、割れ強度を向上させ、経年寸法変化率を減少することができる。上記熱処理工程 (S 2 0 0) によれば、焼入れ組織となっている窒素富化層 1 1 B、1 2 B、1 3 B において、旧オーステナイト結晶粒の粒径が、図 2 0 に示した従来の焼入れ組織におけるミクロ組織と比較して 2 分の 1 以下となる、図 1 9 に示したようなミクロ組織を得ることができる。上記の熱処理を受けた軸受部品は、転動疲労に対して長寿命であり、割れ強度を向上させ、経年寸法変化率も減少させることができる。

30

【 0 1 3 9 】

次に、加工工程 (S 3 0 0) を実施する。この工程 (S 3 0 0) では、各軸受部品の最終的な形状となるように、仕上げ加工を行う。ころ 1 2 については、図 1 2 に示したように切削加工などの機械加工によりクラウニング 2 2 A および面取り部 2 1 を形成する。

【 0 1 4 0 】

次に、組立工程 (S 4 0 0) を実施する。この工程 (S 4 0 0) では、上記のように準備された軸受部品を組み立てることにより、図 1 に示した円錐ころ軸受 1 0 を得る。このようにして、図 1 に示した円錐ころ軸受 1 0 を製造することができる。

【 0 1 4 1 】

< 円錐ころ軸受の用途の例 >

40

【 0 1 4 2 】

次に、本実施の形態に係る円錐ころ軸受の用途の一例について説明する。本実施形態に係る円錐ころ軸受は、デファレンシャル又はトランスミッション等の自動車の動力伝達装置に組み込まれると好適である。すなわち、本実施形態に係る円錐ころ軸受は、自動車用円錐ころ軸受として用いると好適である。図 2 8 は、上述した円錐ころ軸受 1 0 を使用した自動車のデファレンシャルを示す。このデファレンシャルは、プロペラシャフト (図示省略) に連結され、デファレンシャルケース 1 2 1 に挿通されたドライブピニオン 1 2 2 が、差動歯車ケース 1 2 3 に取り付けられたリングギヤ 1 2 4 と噛み合わされ、差動歯車ケース 1 2 3 の内部に取り付けられたピニオンギヤ 1 2 5 が、差動歯車ケース 1 2 3 に左

50

右から挿通されるドライブシャフト（図示省略）に連結されるサイドギヤ 126 と噛み合わされて、エンジンの駆動力がプロペラシャフトから左右のドライブシャフトに伝達されるようになっている。このデファレンシャルでは、動力伝達軸であるドライブピニオン 122 と差動歯車ケース 123 が、それぞれ一対の円錐ころ軸受 10a、10b で支持されている。なお、円錐ころ軸受 10a、10b は、自動車のデファレンシャルに限らず、トランスミッションに用いてもよい。

【0143】

ところで、自動車の動力伝達装置であるトランスミッション又はデファレンシャル等においては、省燃費化のために、潤滑油（オイル）の粘度を低下させたり、少油量化を図る傾向にあり、円錐ころ軸受において、十分な油膜が形成され難いことがある。よって、寿命が向上した上記の円錐ころ軸受 10 をトランスミッション又はデファレンシャルに組み込むことで上記要求を満たすことができる。

10

【0144】

以上のように本発明の実施の形態について説明を行ったが、上述の実施の形態を様々に変形することも可能である。また、本発明の範囲は上述の実施の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および範囲内でのすべての変更を含むことが意図される。

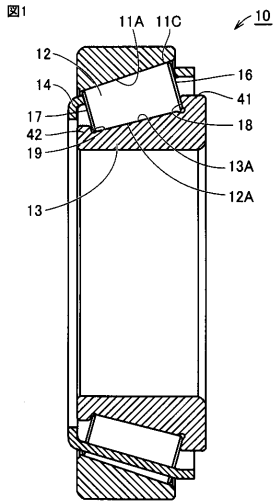
【符号の説明】

【0145】

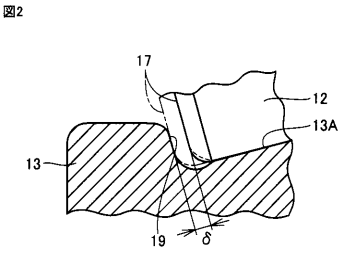
10、10a、10b 円錐ころ軸受、11 外輪、11A 外輪軌道面、11B、12B、13B 窒素富化層、12 ころ、12A ころ転動面、13 内輪、13A 内輪軌道面、14 保持器、16 大端面、16A 凸部、16B 凹部、16C、21 面取り部、17 小端面、18 大鏝面、18A 逃げ面、19 小鏝面、22、24 クラウニング部、22A クラウニング、23 ストレート部（中央部）、25A、25B 逃げ部、26 中心線、27 接触部クラウニング部分、27A ストレート部分、27B 対数曲線で形成された部分、28 非接触部クラウニング部分、31 第1測定点、32 第2測定点、33 第3測定点、121 デファレンシャルケース、122 ドライブピニオン、123 差動歯車ケース、124 リングギヤ、125 ピニオンギヤ、126 サイドギヤ。

20

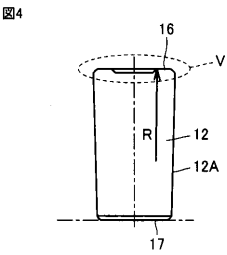
【 図 1 】



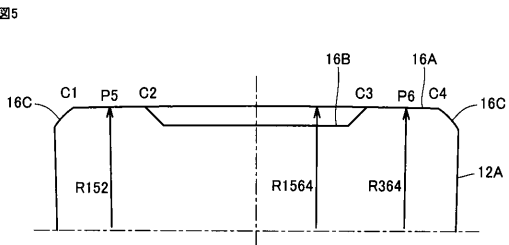
【 図 2 】



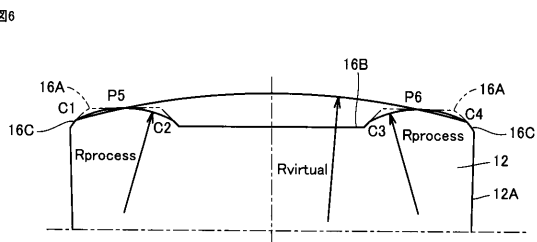
【 図 4 】



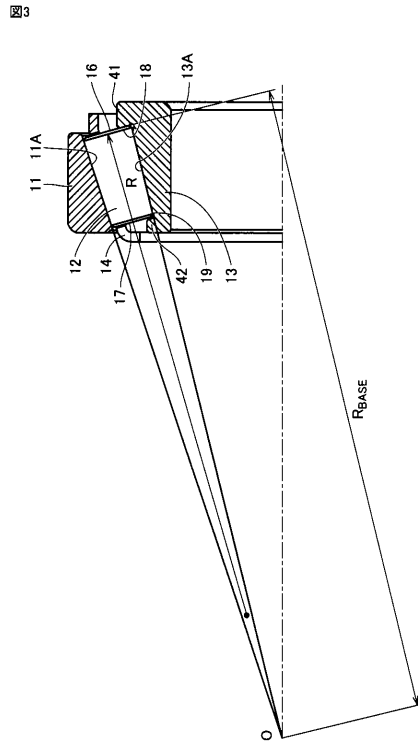
【 図 5 】



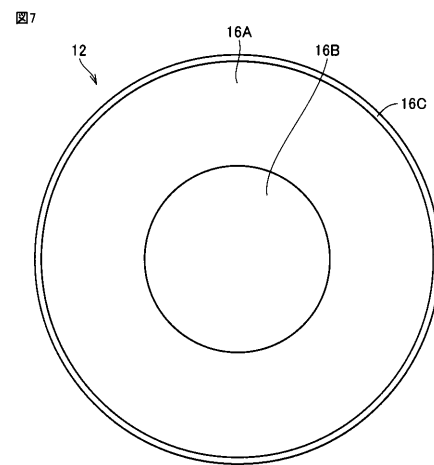
【 図 6 】



【 図 3 】

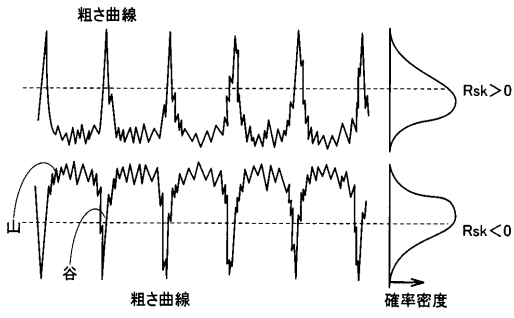


【 図 7 】



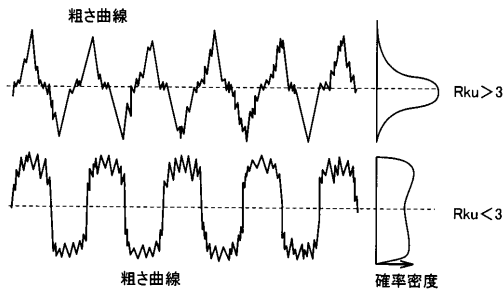
【 図 8 】

図8



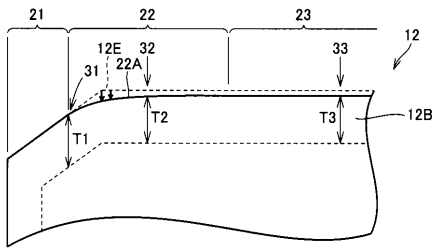
【 図 9 】

図9



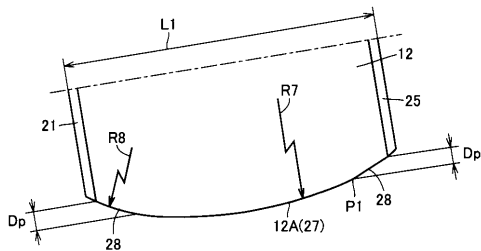
【 図 1 2 】

図12



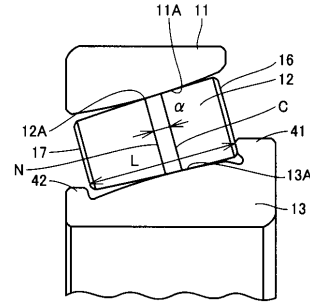
【 図 1 3 】

図13



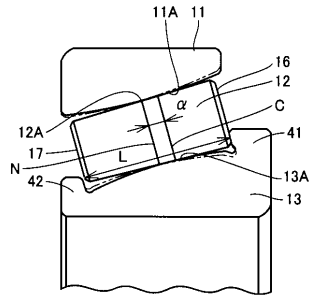
【 図 1 0 】

図10



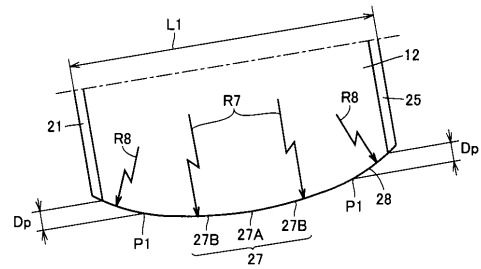
【 図 1 1 】

図11



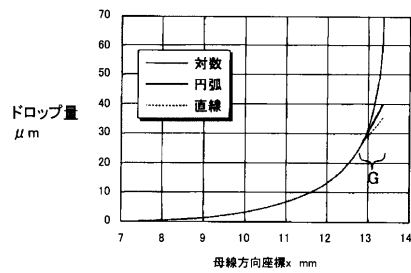
【 図 1 4 】

図14



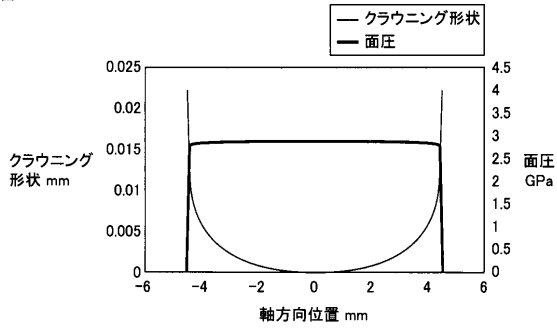
【 図 1 5 】

図15



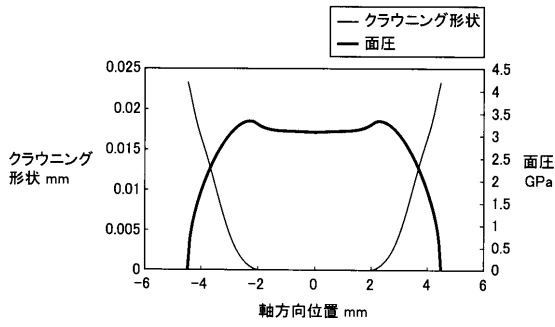
【 図 2 3 】

図23



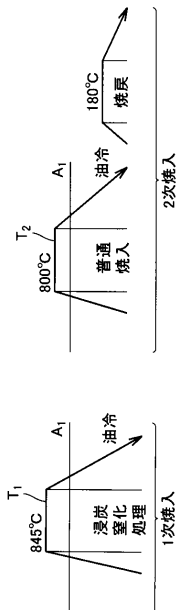
【 図 2 4 】

図24



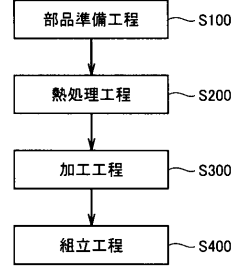
【 図 2 6 】

図26



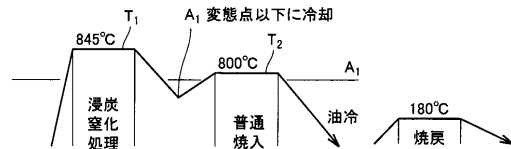
【 図 2 5 】

図25



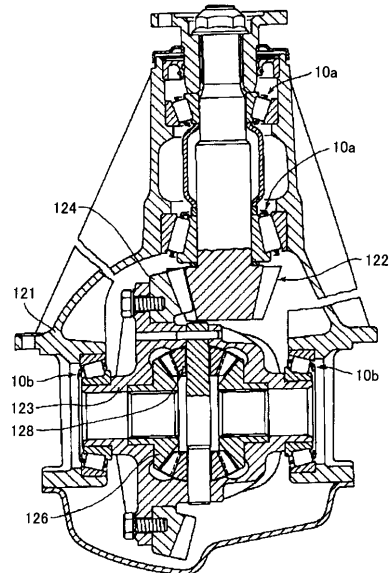
【 図 2 7 】

図27



【 図 2 8 】

図28



フロントページの続き

Fターム(参考) 3J701 AA16 AA25 AA32 AA42 AA54 AA62 BA06 BA09 BA53 BA54
BA55 BA69 CA13 EA03 FA33 FA38 GA01 XB01 XB03 XB12
XB17 XB31