

(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2010-1992

(P2010-1992A)

(43) 公開日 平成22年1月7日(2010.1.7)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
F 1 6 C 19/16 (2006.01)	F 1 6 C 19/16	3 C 0 4 5
F 1 6 C 19/26 (2006.01)	F 1 6 C 19/26	3 J 7 0 1
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	
B 2 3 B 19/02 (2006.01)	B 2 3 B 19/02	
	B	
	審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 24 頁)	

(21) 出願番号 特願2008-161912 (P2008-161912)
 (22) 出願日 平成20年6月20日 (2008.6.20)

(71) 出願人 000102692
 N T N株式会社
 大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
 (74) 代理人 100064746
 弁理士 深見 久郎
 (74) 代理人 100085132
 弁理士 森田 俊雄
 (74) 代理人 100083703
 弁理士 仲村 義平
 (74) 代理人 100096781
 弁理士 堀井 豊
 (74) 代理人 100098316
 弁理士 野田 久登
 (74) 代理人 100109162
 弁理士 酒井 将行

最終頁に続く

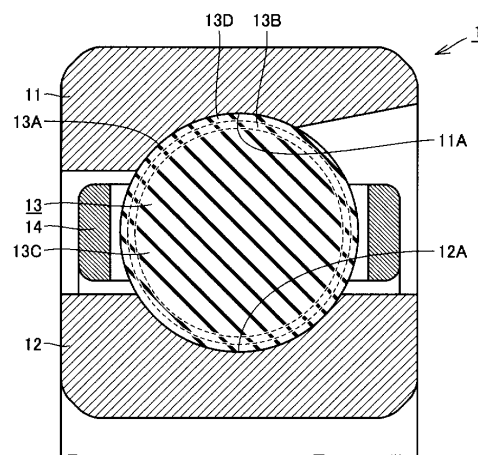
(54) 【発明の名称】 工作機械用転がり軸受

(57) 【要約】

【課題】トラブル発生時における軌道部材の損傷を抑制しつつ、転動体の軽量化および耐焼付性の向上を達成することが可能な工作機械用転がり軸受を提供する。

【解決手段】工作機械の主軸を、当該主軸に対向するように配置されるハウジングに対して回転自在に支持するアンギュラ玉軸受1を構成する玉13は、 $\text{Si}_6\text{ZAl}_2\text{O}_2\text{N}_8\text{Z}$ の組成式で表され、 $0.1 \leq \text{Z} \leq 3.5$ を満たすサイアロンを主成分とし、残部不純物からなる焼結体から構成され、ヤング率が180GPa以上270GPa以下となっている。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

工作機械の主軸を、前記主軸に対向するように配置される部材に対して回転自在に支持する工作機械用転がり軸受であって、

軌道部材と、

前記軌道部材に接触し、円環状の軌道上に配置される転動体とを備え、

前記転動体は、窒化珪素からなる場合に比べて前記軌道部材に対する衝撃を抑制することが可能なセラミックスからなっている、工作機械用転がり軸受。

【請求項 2】

前記転動体は、サイアロンを主成分とし、残部不純物からなる焼結体から構成される、請求項 1 に記載の工作機械用転がり軸受。 10

【請求項 3】

前記転動体は、サイアロンを主成分とし、残部焼結助剤および不純物からなる焼結体から構成される、請求項 1 に記載の工作機械用転がり軸受。

【請求項 4】

前記 サイアロンは、 $\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_2\text{N}_8$ の組成式で表され、 $0.1 \leq z \leq 3.5$ を満たす、請求項 2 または 3 に記載の工作機械用転がり軸受。

【請求項 5】

前記 サイアロンは、 $\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_2\text{N}_8$ の組成式で表され、 $0.5 \leq z \leq 3.0$ を満たす、請求項 2 または 3 に記載の工作機械用転がり軸受。 20

【請求項 6】

前記転動体のヤング率は 180 GPa 以上 270 GPa 以下である、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の工作機械用転がり軸受。

【請求項 7】

前記転動体のヤング率は 220 GPa 以上 260 GPa 以下である、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の工作機械用転がり軸受。

【請求項 8】

前記軌道部材は鋼からなり、

前記軌道部材の表面硬度は $\text{HV} 680$ 以上となっている、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の工作機械用転がり軸受。 30

【請求項 9】

前記転動体は、前記軌道部材と接触する面である転走面を含む領域に、内部よりも緻密性の高い層である緻密層を有している、請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の工作機械用転がり軸受。

【請求項 10】

前記緻密層の断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率は 7% 以下である、請求項 9 に記載の工作機械用転がり軸受。

【請求項 11】

前記緻密層の表面を含む領域には、前記緻密層内の他の領域よりもさらに緻密性の高い層である高緻密層が形成されている、請求項 9 または 10 に記載の工作機械用転がり軸受。 40

【請求項 12】

前記高緻密層の断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率は 3.5% 以下である、請求項 11 に記載の工作機械用転がり軸受。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、工作機械用転がり軸受に関し、より特定のには、サイアロンを主成分とする焼結体からなる構成部品を備えた工作機械用転がり軸受に関するものである。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 2 】

一般に工作機械は、先端部分に工具を取り付け可能とした主軸を、ビルトインモータなどの駆動装置により回転させる構成を有している。ここで、当該主軸は、主軸の外周面に対向するように配置されたハウジングなどの部材に対して転がり軸受により回転自在に保持される場合がある。そして、この主軸を支持する転がり軸受である工作機械用転がり軸受としては、アンギュラ玉軸受や円筒ころ軸受が採用される（たとえば特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 3 】

ここで、近年の工作機械の性能向上に伴い、工作機械用転がり軸受においては、転動体の軽量化および耐焼付性の向上などが求められている。これに対し、工作機械用転がり軸受の転動体として、窒化珪素製の転動体が採用される場合がある。窒化珪素は、転動体の素材として一般的に採用される鋼に比べて比重が小さいため、転動体の軽量化に寄与することができる。また、窒化珪素を転動体の素材として採用することにより、鋼からなる軌道輪などの軌道部材と、玉、ころなどの転動体とが異種材料となるとともに転動体の耐摩耗性が向上するため、耐焼付性も向上する。したがって、工作機械用転がり軸受の転動体の素材として窒化珪素を採用することにより、上述の転動体の軽量化および耐焼付性の向上を達成することができる。

10

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 1 1 5 0 3 0 号公報

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

一方、工作機械においては、被加工物と主軸とが衝突するなどのトラブルが発生する場合がある。このような場合、工作機械用転がり軸受には衝撃的な負荷が作用する。ここで、窒化珪素は、鋼に比べてヤング率が大きく、弾性変形しにくいという特徴がある。そのため、鋼製の転動体に比べて、窒化珪素製の転動体と軌道部材との接触面積は小さくなり、接触面圧が大きくなる傾向にある。そのため、工作機械用転がり軸受の転動体として窒化珪素製の転動体が採用されている場合、上述のようなトラブルが発生すると、軌道部材に圧痕などの損傷が発生しやすくなる。軌道部材に圧痕などの損傷が発生した場合、異音や早期焼付きなどの原因となる。つまり、工作機械用転がり軸受の転動体として窒化珪素製の転動体を採用した場合、上述のようなトラブルが発生した場合の軌道部材の損傷が大きくなるという問題があった。

30

【 0 0 0 5 】

そこで、本発明の目的は、トラブル発生時における軌道部材の損傷を抑制しつつ、転動体の軽量化および耐焼付性の向上を達成することが可能な工作機械用転がり軸受を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明に従った工作機械用転がり軸受は、工作機械の主軸を、当該主軸に対向するように配置される部材に対して回転自在に支持する工作機械用転がり軸受である。この工作機械用転がり軸受は、軌道部材と、軌道部材に接触し、円環状の軌道上に配置される転動体とを備えている。そして、転動体は、窒化珪素からなる場合に比べて軌道部材に対する衝撃を抑制することが可能なセラミックスからなっている。より具体的には、たとえば転動体は、窒化珪素からなる場合に比べてヤング率が小さくなるセラミックスからなっている。

40

【 0 0 0 7 】

本発明の工作機械用転がり軸受によれば、衝撃が作用した場合でも軌道部材における損傷が抑制されるため、トラブル発生時における軌道部材の損傷を抑制しつつ、転動体の軽量化および耐焼付性の向上を達成することが可能な工作機械用転がり軸受を提供することができる。

【 0 0 0 8 】

50

本発明の一の局面における工作機械用転がり軸受は、工作機械の主軸を、主軸に対向するように配置される部材に対して回転自在に支持する工作機械用転がり軸受である。この工作機械用転がり軸受は、軌道部材と、軌道部材に接触し、円環状の軌道の上に配置される転動体とを備えている。そして、転動体は、サイアロンを主成分とし、残部不純物からなる焼結体から構成される。

【0009】

本発明の他の局面における工作機械用転がり軸受は、工作機械の主軸を、主軸に対向するように配置される部材に対して回転自在に支持する工作機械用転がり軸受である。この工作機械用転がり軸受は、軌道部材と、軌道部材に接触し、円環状の軌道の上に配置される転動体とを備えている。そして、転動体は、サイアロンを主成分とし、残部焼結助剤および不純物からなる焼結体から構成される。

10

【0010】

本発明の一の局面における工作機械用転がり軸受においては、転動体にセラミックスであるサイアロン焼結体（サイアロンを主成分とする焼結体）が採用されている。そのため、転動体の軽量化および耐焼付性の向上が達成される。さらに、サイアロン焼結体は、窒化珪素（ Si_3N_4 ）やアルミナ（ Al_2O_3 ）などの一般的なセラミックスからなる焼結体に比べてヤング率が小さい。そのため、ヤング率が高いことに起因したトラブル発生時における軌道部材の損傷を抑制することができる。以上のように、本発明の一の局面における工作機械用転がり軸受によれば、トラブル発生時における軌道部材の損傷を抑制しつつ、転動体の軽量化および耐焼付性の向上を達成することが可能な工作機械用転がり軸受を提供することができる。

20

【0011】

また、本発明の他の局面における工作機械用転がり軸受は、基本的には上記本発明の一の局面における工作機械用転がり軸受と同様の構成を有し、同様の作用効果を奏する。しかし、本発明の他の局面における工作機械用転がり軸受では、焼結体が焼結助剤を含む点で上記本発明の一の局面における工作機械用転がり軸受とは異なっている。本発明の他の局面における工作機械用転がり軸受によれば、焼結助剤の採用により、焼結体の気孔率を低下させやすくなり、十分な耐久性を安定して確保することが可能な工作機械用転がり軸受を容易に提供することができる。

30

【0012】

なお、焼結助剤としては、マグネシウム（ Mg ）、アルミニウム（ Al ）、珪素（ Si ）、チタン（ Ti ）、希土類元素の酸化物、窒化物、酸窒化物のうち少なくとも一種以上を採用することができる。また、上記本発明の一の局面における工作機械用転がり軸受と同等の作用効果を奏するためには、焼結助剤は、焼結体のうち20質量%以下とすることが望ましい。

【0013】

上記工作機械用転がり軸受において好ましくは、上記サイアロンは、 $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ の組成式で表され、 $0.1 \leq z \leq 3.5$ を満たす。

【0014】

本発明者は、サイアロン焼結体からなる転動体の転動疲労寿命とサイアロンの組成との関係の詳細に調査した。その結果、以下の知見が得られた。サイアロンは、燃焼合成を含む製造工程を採用することにより、上記 z の値（以下、 z 値という）が0.1以上となる種々の組成を有するものを安価に製造することができる。そして、一般に転動疲労寿命に大きな影響を与える硬度は、製造の容易な z 値4.0以下の範囲において、ほとんど変化しない。しかしながら、サイアロン焼結体からなる転動体の転動疲労寿命と z 値との関係の詳細に調査したところ、 z 値が3.5を超えると転動体の転動疲労寿命が低下することが分かった。

40

【0015】

より具体的には、 z 値が0.1以上3.5以下の範囲においては、転動疲労寿命はほぼ同等で、転がり軸受の運転時間が所定時間を超えると、転動体の表面に剥離が発生して破

50

損する。これに対し、 z 値が 3.5 を超えると転動体が摩耗しやすくなり、これに起因して転動疲労寿命が低下する。つまり、 z 値が 3.5 となる組成を境界として、サイアロンからなる転動体の破損モードが変化し、 z 値が 3.5 を超えると転動疲労寿命が低下するという現象が明らかとなった。したがって、サイアロン焼結体からなる転動体において、安定して十分な寿命を確保するためには、 z 値を 3.5 以下とすることが好ましい。以上のように、上記サイアロンを 0.1 z 3.5 を満たすものとするにより、安価で、かつ耐久性に優れた工作機械用転がり軸受を提供することができる。

【0016】

上記工作機械用転がり軸受において好ましくは、上記サイアロンは、 $\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_8\text{N}_8$ の組成式で表され、0.5 z 3.0 を満たす。

10

【0017】

これにより、振動や衝撃が作用した場合における工作機械用転がり軸受の耐久性を一層向上させることができる。

【0018】

上記工作機械用転がり軸受において好ましくは、上記転動体のヤング率は 180 GPa 以上 270 GPa 以下である。

【0019】

転動体のヤング率が高くなると、転動体を構成する素材（サイアロン焼結体）の強度が上昇する傾向にある。しかし、その反面、転動体のヤング率が高くなると、転動体が弾性変形しにくくなるため、軌道部材との接触面積が小さくなり、接触面圧が高くなる。その結果、軌道部材に損傷が発生し易くなる。一方、転動体のヤング率が低くなると、転動体が弾性変形しやすくなるため、軌道部材との接触面積が大きくなり、接触面圧が低くなる。しかし、その反面、転動体のヤング率が低くなると、これに伴って転動体を構成する素材の強度が低下する傾向にある。そのため、転動体のヤング率は、転動体を構成する素材の強度と軌道部材との間における接触面圧の低減とのバランスを確保可能な範囲とすることが必要である。

20

【0020】

より具体的には、サイアロン焼結体からなる転動体のヤング率が 180 GPa 未満の場合、転動体を構成する素材の強度低下の影響が接触面圧の低減の効果を上回り、転動体の転動疲労寿命が低下する。また、軌道部材との接触面積が増大することに伴い、軌道部材との間に作用する摩擦力が増加して軸受トルクが上昇し、主軸の回転に対する抵抗が大きくなる問題も発生する。したがって、サイアロン焼結体からなる転動体のヤング率は、180 GPa 以上であることが好ましく、220 GPa 以上であることがより好ましい。

30

【0021】

一方、サイアロン焼結体からなる転動体のヤング率が 270 GPa を超える効果を上回り、軌道部材の転走面に圧痕などの損傷が発生しやすくなる。したがって、接触面圧の増加の影響が転動体を構成する素材の強度上昇の、サイアロン焼結体からなる転動体のヤング率は、270 GPa 以下であることが好ましく、260 GPa 以下であることがより好ましい。

40

【0022】

上記工作機械用転がり軸受においては、軌道部材は鋼からなるものとするができる。この場合、当該軌道部材の表面硬度は HV 680 以上であることが好ましい。これにより、振動や衝撃が作用した場合における軌道部材の損傷を抑制することができる。

【0023】

上記工作機械用転がり軸受において好ましくは、上記転動体は、軌道部材と接触する面である転走面を含む領域に、内部よりも緻密性の高い層である緻密層を有している。

【0024】

上述のサイアロン焼結体からなる転動体においては、その緻密性が転動疲労寿命に大きく影響する。これに対し、上記構成によれば、転走面を含む領域に内部よりも緻密性の

50

高い層である緻密層が形成されていることにより、転動疲労寿命が向上する。その結果、十分な耐久性を安定して確保することが可能な工作機械用転がり軸受を提供することができる。

【0025】

ここで、緻密性の高い層とは、焼結体において空孔率の低い（密度の高い）層であって、たとえば以下のように調査することができる。まず、サイアロン焼結体からなる転動体の表面に垂直な断面において転動体を切断し、当該断面を鏡面ラッピングする。その後、鏡面ラッピングされた断面を光学顕微鏡の斜光（暗視野）にて、たとえば50～100倍程度で撮影し、300DPI（Dot Per Inch）以上の画像として記録する。このとき、白色の領域として観察される白色領域は、空孔率の高い（密度の低い）領域に対応する。したがって、白色領域の面積率が低い領域は、当該面積率が高い領域に比べて緻密性が高い。そして、記録された画像を、画像処理装置を用いて輝度閾値により2値化処理した上で白色領域の面積率を測定し、当該面積率により、撮影された領域の緻密性を知ることができる。

10

【0026】

つまり、上記工作機械用転がり軸受において好ましくは、上記焼結体は、転走面を含む領域に内部よりも白色領域の面積率の低い層である緻密層が形成されている。なお、上記撮影は、ランダムに5箇所以上で行ない、上記面積率は、その平均値で評価することが好ましい。また、上記焼結体の内部における上記白色領域の面積率は、たとえば15%以上である。また、サイアロン焼結体からなる転動体の転動疲労寿命を一層向上させるためには、上記緻密層は100μm以上の厚みを有していることが好ましい。

20

【0027】

上記工作機械用転がり軸受において好ましくは、緻密層の断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率は7%以下である。

【0028】

白色領域の面積率が7%以下となる程度に上記緻密層の緻密性を向上させることで、サイアロン焼結体からなる転動体の転動疲労寿命がより向上する。したがって、上記構成により、本発明の工作機械用転がり軸受の耐久性を一層向上させることができる。

【0029】

上記工作機械用転がり軸受において好ましくは、緻密層の表面を含む領域には、緻密層内の他の領域よりもさらに緻密性の高い層である高緻密層が形成されている。

30

【0030】

緻密性のさらに高い高緻密層が緻密層の表面を含む領域に形成されることにより、サイアロン焼結体からなる転動体の転動疲労に対する耐久性がより向上し、工作機械用転がり軸受の寿命を一層向上させることができる。

【0031】

上記工作機械用転がり軸受において好ましくは、高緻密層の断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率は3.5%以下である。

【0032】

白色領域の面積率が3.5%以下となる程度に上記高緻密層の緻密性を向上させることで、サイアロン焼結体からなる転動体の転動疲労寿命がより向上する。したがって、上記構成により、本発明の工作機械用転がり軸受の耐久性を一層向上させることができる。

40

【発明の効果】

【0033】

以上の説明から明らかなように、本発明の工作機械用転がり軸受によれば、トラブル発生時における軌道部材の損傷を抑制しつつ、転動体の軽量化および耐焼付性の向上を達成することが可能な工作機械用転がり軸受を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

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

50

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。

【 0 0 3 5 】

図 1 は、本発明の一実施の形態における工作機械用転がり軸受としてのアンギュラ玉軸受（フロント軸受）および円筒ころ軸受（リア軸受）を備えた工作機械の主軸付近の構成を示す概略断面図である。図 1 を参照して、本発明の一実施の形態におけるアンギュラ玉軸受および円筒ころ軸受を備えた工作機械の構成について説明する。

【 0 0 3 6 】

図 1 を参照して、本実施の形態における工作機械 9 0 は、円筒状の形状を有する主軸 9 1 と、主軸 9 1 の外周面を取り囲むハウジング 9 2 と、外輪 1 1 および外輪 2 1 の外周面のそれぞれがハウジングの内壁 9 2 A に接触するとともに、内輪 1 2 および内輪 2 2 の内周面のそれぞれが主軸 9 1 の外周面 9 1 A に接触するように、主軸 9 1 とハウジング 9 2 との間に嵌め込まれて配置された工作機械用転がり軸受としてのアンギュラ玉軸受 1（フロント軸受）および円筒ころ軸受 2（リア軸受）とを備えている。これにより、主軸 9 1 は、ハウジング 9 2 に対して軸周りに回転自在に支持されている。

【 0 0 3 7 】

また、主軸 9 1 には、外周面 9 1 A の一部を取り囲むようにモータロータ 9 3 B が設置されており、ハウジング 9 2 の内壁 9 2 A には、モータロータ 9 3 B に対向する位置にモータステータ 9 3 A が設置されている。このモータステータ 9 3 A およびモータロータ 9 3 B は、モータ 9 3（ビルトインモータ）を構成している。これにより、主軸 9 1 は、モータ 9 3 の動力によって、ハウジング 9 2 に対して相対的に回転可能となっている。

【 0 0 3 8 】

すなわち、アンギュラ玉軸受 1 および円筒ころ軸受 2 は、工作機械 9 0 の主軸 9 1 を、主軸 9 1 に対向するように配置される部材であるハウジング 9 2 に対して回転自在に支持する工作機械用転がり軸受である。

【 0 0 3 9 】

次に、工作機械 9 0 の動作について説明する。図 1 を参照して、モータ 9 3 のモータステータ 9 3 A に図示しない電源から電力が供給されることにより、モータロータ 9 3 B を軸回りに回転させる駆動力が発生する。これにより、ハウジング 9 2 に対してアンギュラ玉軸受 1 および円筒ころ軸受 2 により回転自在に支持されている主軸 9 1 は、モータロータ 9 3 B とともにハウジング 9 2 に対して相対的に回転する。このように、主軸 9 1 が回転することにより、主軸 9 1 の先端 9 1 B に取り付けられた図示しない工具が被加工物を切削、研削等して、被加工物を加工することができる。

【 0 0 4 0 】

次に、上記アンギュラ玉軸受 1 について説明する。図 2 は、本実施の形態における工作機械用転がり軸受としてのアンギュラ玉軸受の構成を示す概略断面図である。また、図 3 は、図 2 の要部を拡大して示した概略部分断面図である。

【 0 0 4 1 】

図 2 および図 3 を参照して、アンギュラ玉軸受 1 は、第 1 軌道部材としての外輪 1 1 と、第 2 軌道部材としての内輪 1 2 と、複数の転動体としての玉 1 3 と、保持器 1 4 とを備えている。外輪 1 1 の内周面には、円環状の第 1 転走面としての外輪転走面 1 1 A が形成されている。内輪 1 2 の外周面には、外輪転走面 1 1 A に対向する円環状の第 2 転走面としての内輪転走面 1 2 A が形成されている。また、複数の玉 1 3 には、転動体転走面としての玉転走面 1 3 A（玉 1 3 の表面）が形成されている。そして、当該玉 1 3 は、外輪転走面 1 1 A および内輪転走面 1 2 A の各々に玉転走面 1 3 A において接触し、円環状の保持器 1 4 により周方向に所定のピッチで配置されることにより円環状の軌道上に転動自在に保持されている。これにより、外輪 1 1 と内輪 1 2 とは互いに相対的に回転可能となっている。

【 0 0 4 2 】

ここで、アンギュラ玉軸受 1 においては、玉 1 3 と外輪 1 1 との接触点と、玉 1 3 と内輪 1 2 との接触点とを結ぶ直線は、ラジアル方向（アンギュラ玉軸受 1 の回転軸に垂直な

10

20

30

40

50

方向)に対して角度をなしている。そのため、ラジアル方向の荷重だけでなく、アキシャル方向の荷重をも受けることが可能であるとともに、ラジアル方向の荷重が負荷されると、アキシャル方向(アンギュラ玉軸受1の回転軸の方向)への分力が生じる。図1を参照して、本実施の形態の工作機械90では、前方側(主軸91の先端91B側)に同じ向きのアンギュラ玉軸受1を2つ配置するとともに、後方側(モータロータ93B側)には、前方側とは逆向きのアンギュラ玉軸受1を2つ配置することにより、当該分力を相殺している。

【0043】

そして、本実施の形態における転動体としての玉13は、 $Si_6 - z Al_z O_z N_8 - z$ の組成式で表され、 $0.1 \leq z \leq 3.5$ を満たすサイアロンを主成分とし、残部不純物からなる焼結体から構成され、ヤング率が180GPa以上270GPa以下となっている。

10

【0044】

さらに、図3を参照して、玉13の転走面である玉転走面13Aを含む領域には、内部13Cよりも緻密性の高い層である玉緻密層13Bが形成されている。この玉緻密層13Bの断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率は7%以下である。そのため、本実施の形態におけるアンギュラ玉軸受1は、トラブル発生時における軌道部材の損傷を抑制しつつ、転動体の軽量化および耐焼付性の向上を達成することが可能な工作機械用転がり軸受となっている。上記不純物は、原料に由来するもの、あるいは製造工程において混入するものを含む不可避免の不純物を含む。

20

【0045】

さらに、図3を参照して、玉緻密層13Bの表面である玉転走面13Aを含む領域には、玉緻密層13B内の他の領域よりもさらに緻密性の高い層である玉高緻密層13Dが形成されている。玉高緻密層13Dの断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率は3.5%以下となっている。これにより、玉13の転動疲労に対する耐久性がより向上し、アンギュラ玉軸受1の耐久性が一層向上している。

【0046】

なお、上記本実施の形態においては、アンギュラ玉軸受1を構成する玉13は、サイアロンを主成分とし、残部焼結助剤および不純物からなる焼結体から構成されていてもよい。焼結助剤を含むことで、焼結体の気孔率を低下させやすくなり、十分な耐久性を安定して確保することが可能なアンギュラ玉軸受1を、容易に提供することができる。上記不純物は、原料に由来するもの、あるいは製造工程において混入するものを含む不可避免の不純物を含む。

30

【0047】

次に、上記円筒ころ軸受2について説明する。図4は、本実施の形態における工作機械用転がり軸受としての円筒ころ軸受の構成を示す概略断面図である。また、図5は、図4の要部を拡大して示した概略部分断面図である。

【0048】

図4および図5を参照して、円筒ころ軸受2は、基本的には上述のアンギュラ玉軸受1と同様の構成を備えており、同様の効果を有している。しかし、円筒ころ軸受2は、軌道輪および転動体の構成において、アンギュラ玉軸受1とは異なっている。

40

【0049】

すなわち、円筒ころ軸受2は、第1軌道部材としての外輪21と、第2軌道部材としての内輪22と、複数の転動体としての円筒ころ23と、保持器24とを備えている。外輪21の内周面には、円環状の第1転走面としての外輪転走面21Aが形成されている。内輪22の外周面には、外輪転走面21Aに対向する円環状の第2転走面としての内輪転走面22Aが形成されている。また、複数の円筒ころ23には、転動体転走面としてのころ転走面23A(円筒ころ23の外周面)が形成されている。そして、当該円筒ころ23は、外輪転走面21Aおよび内輪転走面22Aの各々にくるころ転走面23Aにおいて接触し、円

50

環状の保持器 2 4 により周方向に所定のピッチで配置されることにより円環状の軌道の上に転動自在に保持されている。これにより、外輪 2 1 と内輪 2 2 とは互いに相対的に回転可能となっている。

【0050】

さらに、図 2 ~ 図 5 を参照して、円筒ころ軸受 2 を構成する円筒ころ 2 3 は、上述の玉 1 3 に相当し、内部 1 3 C、玉緻密層 1 3 B および玉高緻密層 1 3 D と同様の構成を有する内部 2 3 C、ころ緻密層 2 3 B およびころ高緻密層 2 3 D を有している。そのため、本実施の形態における円筒ころ軸受 2 は、トラブル発生時における軌道部材の損傷を抑制しつつ、転動体の軽量化および耐焼付性の向上を達成することが可能な工作機械用転がり軸受となっている。

10

【0051】

次に、本実施の形態における工作機械用転がり軸受の製造方法について説明する。図 6 は、本発明の一実施の形態における工作機械用転がり軸受の製造方法の概略を示す図である。また、図 7 は、本発明の一実施の形態における サイアロン焼結体からなる転動体の製造方法の概略を示す図である。

【0052】

図 6 を参照して、本実施の形態における工作機械用転がり軸受の製造方法においては、まず、軌道部材を製造する軌道部材製造工程と、転動体を製造する転動体製造工程とが実施される。具体的には、軌道部材製造工程では、外輪 1 1、2 1、内輪 1 2、2 2 などが製造される。一方、転動体製造工程では、玉 1 3、円筒ころ 2 3 などが製造される。

20

【0053】

そして、軌道部材製造工程において製造された軌道部材と、転動体製造工程において製造された転動体とを組み合わせることにより、工作機械用転がり軸受を組立てる組立工程が実施される。具体的には、たとえば外輪 1 1 および内輪 1 2 と、玉 1 3 とを組み合わせることにより、アンギュラ玉軸受 1 が組立てられる。そして、転動体製造工程は、たとえば以下の サイアロン焼結体からなる転動体の製造方法を用いて実施される。

【0054】

図 7 を参照して、本実施の形態における サイアロン焼結体からなる転動体の製造方法においては、まず、サイアロンの粉末を準備する サイアロン粉末準備工程が実施される。サイアロン粉末準備工程においては、たとえば燃焼合成法を採用した製造工程により、安価に サイアロンの粉末を製造することができる。

30

【0055】

次に、サイアロン粉末準備工程において準備された サイアロンの粉末に、焼結助剤を添加して混合する混合工程が実施される。この混合工程は、焼結助剤を添加しない場合、省略することができる。

【0056】

次に、図 7 を参照して、上記 サイアロンの粉末または サイアロンの粉末と焼結助剤との混合物を、転動体の概略形状に成形する成形工程が実施される。具体的には、上記 サイアロンの粉末または サイアロンの粉末と焼結助剤との混合物に、プレス成形、鋳込み成形、押し出し成形、転動造粒などの成形手法を適用することにより、玉 1 3、円筒ころ 2 3 などの概略形状に成形された成形体が作製される。

40

【0057】

次に、上記成形体の表面が加工されることにより、当該成形体が焼結後に所望の転動体の形状により近い形状になるよう成形される焼結前加工工程が実施される。具体的には、グリーン体加工などの加工手法を適用することにより、上記成形体が焼結後に玉 1 3、円筒ころ 2 3 などの形状により近い形状になるように加工される。この焼結前加工工程は、成形工程において上記成形体が成形された段階で、焼結後に所望の転動体の形状に近い形状が得られる状態である場合には省略することができる。

【0058】

次に、図 7 を参照して、上記成形体が焼結される焼結工程が実施される。具体的には、

50

上記成形体が、たとえば 1 MPa 以下の圧力でヒータ加熱、マイクロ波やミリ波による電磁波加熱などの加熱方法により加熱されて焼結されることにより、玉 13、円筒ころ 23 などの概略形状を有する焼結体が作製される。焼結は、不活性ガス雰囲気中または窒素と酸素との混合ガス雰囲気中において、1550 以上 1800 以下の温度域に上記成形体が加熱されることにより実施される。不活性ガスとしては、ヘリウム、ネオン、アルゴン、窒素などが採用可能であるが、製造コスト低減の観点から、窒素が採用されることが好ましい。

【0059】

次に、焼結工程において作製された焼結体の表面が加工され、当該表面を含む領域が除去される仕上げ加工が実施されることにより、転動体を完成させる仕上げ工程が実施される。具体的には、焼結工程において作製された焼結体の表面を研磨することにより、転動体としての玉 13、円筒ころ 23 などを完成させる。以上の工程により、本実施の形態における サイアロン焼結体からなる転動体は完成する。

10

【0060】

ここで、上記焼結工程における焼結により、焼結体の表面から厚み 500 μm 程度の領域には、内部よりも緻密性が高く、断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率が 7% 以下である緻密層が形成される。さらに、焼結体の表面から厚み 150 μm 程度の領域には、緻密層内の他の領域よりもさらに緻密性が高く、断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率が 3.5% 以下である高緻密層が形成される。したがって、仕上げ工程においては、除去される焼結体の厚みは、特に転走面となるべき領域において 150 μm 以下とすることが好ましい。これにより、玉転走面 13A やころ転走面 23A を含む領域に、高緻密層を残存させ、玉 13 および円筒ころ 23 の転動疲労寿命を向上させることができる。

20

【0061】

なお、上記焼結工程は、サイアロンの分解を抑制するため、0.01 MPa 以上の圧力で行なうことが好ましく、低コスト化を考慮すると大気圧以上の圧力で行なうことがより好ましい。また、製造コストを抑制しつつ緻密層を形成するためには、焼結工程は 1 MPa 以下の圧力で行なうことが好ましい。また、サイアロン焼結体からなる転動体のヤング率を 180 GPa 以上 270 GPa 以下の所望の値に調整するためには、たとえば サイアロン粉末準備工程において準備される サイアロン粉末の z 値を、0.1 z 3.5 の範囲で調節すればよい。より具体的には、 z 値を増加させることにより、サイアロン焼結体のヤング率を低下させることができる。

30

【0062】

また、上記実施の形態における外輪 11、21 および内輪 12、22 の素材としては、たとえば JIS 規格 SUJ2 などの高炭素クロム軸受鋼、SCM420 などの機械構造用合金鋼、S53C などの機械構造用炭素鋼などの鋼を採用することができる。

【0063】

上記実施の形態においては、本発明の工作機械用転がり軸受であるアンギュラ玉軸受をフロント軸受として採用し、円筒ころ軸受をリア軸受として採用する場合について説明したが、採用される軸受の形式はこれに限られず、たとえばフロント軸受として円筒ころ軸受を採用してもよい。また、本発明の工作機械用転がり軸受においては、内輪および外輪の軸方向両端部を閉じるシール部材を配置し、当該シール部材と内輪および外輪とで閉じられた空間内にウレア系増ちょう剤グリースを封入してもよい。これにより、本発明の工作機械用転がり軸受の耐久性を一層向上させることができる。さらに、上記実施の形態においては、本発明の工作機械用転がり軸受の軌道部材として、外輪および内輪が採用される場合について説明したが、軌道部材は、転動体が表面を転走するように使用される軸、ハウジングなどの部材であってもよい。すなわち、軌道部材は、転動体が転走するための転走面が形成された部材であればよい。

40

【実施例 1】

50

【 0 0 6 4 】

以下、本発明の実施例 1 について説明する。種々の z 値を有する サイアロン焼結体からなる転動体を有する転がり軸受を作製し、 z 値と転動疲労寿命（耐久性）との関係を調査する試験を行なった。試験の手順は以下のとおりである。

【 0 0 6 5 】

まず、試験の対象となる試験軸受の作製方法について説明する。はじめに、燃焼合成法で z 値を 0 . 1 ~ 4 の範囲で作製した サイアロンの粉末を準備し、上記実施の形態において図 7 に基づいて説明した転動体の製造方法と基本的に同様の方法で、 z 値が 0 . 1 ~ 4 である転動体を作製した。具体的な作製方法は以下のとおりである。まず、サブミクロンに微細化された サイアロン粉末と、焼結助剤としての酸化アルミニウム（住友化学株式会社製、AKP30）および酸化イットリウム（H . C . S t a r c k 社製、Y t t r i u m o x i d e g r a d e C）とをボールミルを用いて湿式混合により混合した。その後、スプレードライヤーにて造粒を実施し、造粒粉を製造した。当該造粒粉を金型で球体に成形し、さらに冷間静水圧成形（CIP）で加圧を行ない、球状の成形体を得た。

【 0 0 6 6 】

引き続き当該成形体に対して 1 次焼結として常圧焼結を行なった後、圧力 2 0 0 M P a の窒素雰囲気中でHIP（H o t I s o s t a t i c P r e s s ; 熱間静水圧焼結）処理することで、焼結球体を製造した。次に、当該焼結球体にラッピング加工を行ない、3 / 8 インチセラミック球（JIS 等級 G 5）とした。そして、別途準備した軸受鋼（JIS 規格 S U J 2）製の軌道輪と組み合わせて、JIS 規格 6 2 0 6 型番の軸受を作製した（実施例 A ~ J）。また、比較のため、窒化珪素からなる転動体、すなわち z 値が 0 である転動体も上記 サイアロンからなる転動体と同様の方法で作製し、同様に軸受に組立てた（比較例 A）。

【 0 0 6 7 】

次に、試験条件について説明する。上述のように作製された JIS 規格 6 2 0 6 型番の軸受に対し、最大接触面圧 P_{max} : 3 . 2 G P a、軸受回転数 : 2 0 0 0 r p m、潤滑 : タービン油 V G 6 8 (清浄油) の循環給油、試験温度 : 室温、の条件の下で運転する疲労試験を行なった。そして、振動検出装置により運転中の軸受の振動を監視し、転動体に破損が発生して軸受の振動が所定値を超えた時点で試験を中止するとともに、運転開始から中止までの時間を当該軸受の寿命として記録した。また、試験中止後、軸受を分解して転動体の破損状態を確認した。

【 0 0 6 8 】

【表 1】

	比較例 A	実施例 A	実施例 B	実施例 C	実施例 D	実施例 E	実施例 F	実施例 G	実施例 H	実施例 I	実施例 J
z 値	0 (窒化珪素)	0.1	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	3.8	4
寿命比	1	1.05	1.05	1.05	1.01	0.99	0.95	0.9	0.74	0.12	<0.05
破損形態	剥離	剥離	剥離	剥離	剥離	剥離	剥離	剥離	剥離 (僅かな摩耗あり)	剥離 (摩耗あり)	摩耗

10

20

30

40

【0069】

表 1 に本実施例の試験結果を示す。表 1 においては、各実施例および比較例における寿命が、比較例 A（窒化珪素）における寿命を 1 とした寿命比で表されている。また、破損

50

形態は、転動体の表面に剥離が発生した場合「剥離」、剥離が発生することなく表面が摩耗して試験が中止された場合「摩耗」と記載されている。

【0070】

表1を参照して、 z 値が0.1以上3.5以下となっている本発明の実施例A～Hでは、窒化珪素（比較例A）と比較して遜色ない寿命を有している。また、破損形態も窒化珪素の場合と同様に「剥離」となっている。これに対し、 z 値が3.5を超える実施例Iでは、寿命が低下するとともに、転動体に摩耗が観察される。すなわち、 z 値が3.8である実施例Iでは、最終的には転動体に剥離が発生しているものの、転動体における摩耗が影響し、寿命が低下したものと考えられる。さらに、 z 値が4である実施例Jにおいては、短時間に転動体の摩耗が進行し、転がり軸受の耐久性がさらに低下している。

10

【0071】

以上のように、 z 値が0.1以上3.5以下の範囲においては、サイアロン焼結体からなる転動体を備えた転がり軸受の耐久性は、窒化珪素の焼結体からなる転動体を備えた転がり軸受とほぼ同等である。これに対し、 z 値が3.5を超えると転動体が摩耗しやすくなり、これに起因して転動疲労寿命が低下する。さらに、 z 値が大きくなると、サイアロンからなる転動体の破損原因が「剥離」から「摩耗」に変化し、転動疲労寿命が一層低下することが明らかとなった。このように、 z 値を0.1以上3.5以下とすることにより、安価で、かつ耐久性に優れたサイアロン焼結体からなる転動体を得られることが確認された。

20

【0072】

なお、表1を参照して、 z 値が3を超える3.5の実施例Hにおいては、転動体には僅かな摩耗が発生しており、寿命も実施例A～Gに比べて低下している。このことから、十分な耐久性をより安定して確保するためには、 z 値は3以下とすることが望ましいといえる。

【0073】

また、上記実験結果より、窒化珪素からなる転動体と同等以上の耐久性（寿命）を得るには、 z 値は2以下とすることが好ましく、1.5以下とすることが、より好ましい。一方、燃焼合成を採用した製造工程によるサイアロン粉体の作製の容易性を考慮すると、十分に自己発熱による反応が期待できる0.5以上の z 値を採用することが好ましい。

30

【実施例2】

【0074】

以下、本発明の実施例2について説明する。種々の z 値を有するサイアロン焼結体からなる転動体を有する転がり軸受を作製し、当該転がり軸受に対して衝撃が作用する環境下における z 値と転動疲労寿命との関係を調査する試験を行なった。試験の手順は以下のとおりである。

【0075】

まず、試験の対象となる試験軸受の作製方法について説明する。はじめに、燃焼合成法で z 値を0.1～3.5の範囲で作製したサイアロンの粉末を準備し、上記実施例1と同様の方法で、 z 値が0.1～3.5である転動体を作製した。そして、別途準備した様々な鋼材を素材として製作した軌道輪と組み合わせて、JIS規格6206型番の軸受を作製した（実施例A～J）。軌道輪を構成する鋼としては、JIS規格SUJ2、SCM420、SCr420、S53C、S45C、S40CおよびAISI規格M50を採用した。また、比較のため、窒化珪素からなる転動体、すなわち z 値が0である転動体も上記サイアロンからなる転動体と同様の方法で作製し、同様に軸受に組立てた（比較例A）。

40

【0076】

次に、試験条件について説明する。上述のように作製されたJIS規格6206型番の軸受に対し、最大接触面圧 P_{max} ：2.5GPa、軸受回転数：500rpm、潤滑：タービン油VG68循環給油、加振条件：2500N（50Hz）、試験温度：室温の条件の下で運転する加振衝撃疲労試験を行なった。そして、振動検出装置により運転中の軸

50

受の振動を監視し、軸受に破損が発生して軸受の振動が所定値を超えた時点で試験を中止するとともに、運転開始から中止までの時間を当該軸受の寿命として記録した。また、試験中止後、軸受を分解して軸受の破損状態を確認した。

【0077】

【表2】

玉(材質:βサイアロン)												
z 値												
	比較例 A	実施例 A	実施例 B	実施例 C	実施例 D	実施例 E	実施例 F	実施例 G	実施例 H	実施例 I	実施例 J	
0	0	0.1	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.25	3.5	
10												
20												
30												
40												
50												
60												
70												
80												
90												
100												
110												
120												
130												
140												
150												
160												
170												
180												
190												
200												
210												
220												
230												
240												
250												
260												
270												
280												
290												
300												
310												
320												
330												
340												
350												
360												
370												
380												
390												
400												
410												
420												
430												
440												
450												
460												
470												
480												
490												
500												
510												
520												
530												
540												
550												
560												
570												
580												
590												
600												
610												
620												
630												
640												
650												
660												
670												
680												
690												
700												
710												
720												
730												
740												
750												
760												
770												
780												
790												
800												
810												
820												
830												
840												
850												
860												
870												
880												
890												
900												
910												
920												
930												
940												
950												
960												
970												
980												
990												
1000												

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

表 2 に本実施例の試験結果を示す。表 2 においては、各欄内の上段に各実施例および比較例における寿命が、軌道輪の材質を S U J 2 とした場合の比較例 A (窒化珪素)の寿命を 1 とした寿命比で表されている。また、各欄内の下段には、軸受の破損部位 (軌道輪または玉) が記載されている。

【 0 0 7 9 】

表 2 を参照して、 z 値が 0.5 以上 3.0 以下となっている本発明の実施例 C ~ H は、窒化珪素 (比較例 A) と比較して明確に長寿命となっている。ここで、表 2 に示すように、破損部位は窒化珪素の場合と同様に軌道部材 (軌道輪) となっており、破損形態は剥離であった。これに対し、 z 値が 3.0 を超える実施例 I および J では、寿命が低下するとともに、転動体 (玉) の破損 (剥離) が先行する。すなわち、 z 値が 3.25 である実施例 I では、衝撃の影響により サイアロン焼結体からなる軸受部品 (玉) に損傷が生じ、寿命が低下したものと考えられる。さらに、 z 値が 3.5 である実施例 J おいては、さらに短時間に転動体の剥離が生じ、転がり軸受の耐久性が一層低下している。

【 0 0 8 0 】

一方、 z 値が 0.5 より小さい実施例 A および B では、寿命が比較例 A とほぼ同じ程度にまで低下するとともに、軌道部材の破損 (剥離) が先行する。すなわち、 z 値が 0.25 である実施例 B では、 z 値が 0 (窒化珪素) である比較例 A との物性の差が小さくなる。そのため、サイアロン焼結体からなる玉と、当該玉に相対する軌道部材との衝突によって、一方的に軌道部材側に損傷が生じ、窒化珪素焼結体からなる玉を採用した比較例 A 並みにまで寿命が低下したものと考えられる。

【 0 0 8 1 】

さらに、表 2 を参照して、 z 値が 0.5 以上 3.0 以下となっている場合であっても、相対する軌道輪の硬度 (表面硬度) が H V 6 8 0 未満である場合、軌道輪の硬度が H V 6 8 0 以上の場合に比べて寿命が低下する傾向にある。これは、軌道輪の硬度が低い場合、サイアロン焼結体からなる玉と、当該玉に相対する軌道部材との衝突によって、軌道部材側に損傷が生じ易くなるためであると考えられる。

【 0 0 8 2 】

以上のように、 z 値が 3.0 を超えると サイアロン焼結体からなる軸受部品自身が破損し易くなる一方、 z 値が 0.5 未満では、相手部材との間の接触面圧が増加し、相手部材に損傷が発生しやすくなる。そして、 z 値を 0.5 以上 3.0 以下とすることにより、転動体を構成する素材の強度と、軌道部材との間の接触面圧の低減とのバランスが確保される。その結果、軸受に対して衝撃が作用する環境下において、サイアロン焼結体からなる転動体を含む転がり軸受の寿命が向上することが確認された。特に、軌道部材が鋼からなる場合、軌道部材の物性と転動体の物性とがほどよく調和して、衝撃、振動等による損傷の発生を抑制することができる。このように、転動体を構成するサイアロンの z 値を 0.5 以上 3.0 以下とすることにより、トラブル等により衝撃的な負荷が作用するおそれのある工作機械用転がり軸受の耐久性を向上させることができることが確認された。

【 0 0 8 3 】

また、軌道部材が鋼からなる場合、当該軌道部材の損傷を抑制するため、軌道部材の表面硬度は H V 6 8 0 以上とすることが好ましいことが確認された。

【 実施例 3 】

【 0 0 8 4 】

以下、本発明の実施例 3 について説明する。本発明の工作機械用転がり軸受を構成するサイアロンからなる転動体の緻密層および高緻密層の形成状態を調査する試験を行なった。試験の手順は以下のとおりである。

【 0 0 8 5 】

はじめに、燃焼合成法で作製した組成が $S i_5 A l O N_7$ である サイアロンの粉末 (株式会社イスマンジェイ製、商品名メラミックス) を準備し、上記実施の形態において図 7 に基づいて説明した転動体の製造方法と同様の方法で、一辺が約 10 mm の立方体試験

10

20

30

40

50

片を作製した。具体的な製造方法は次のとおりである。まず、サブミクロンに微細化されたサイアロン粉末と、焼結助剤としての酸化アルミニウム（住友化学株式会社製、AKP30）および酸化イットリウム（H.C.Stark社製、Yttrium oxide grade C）とをボールミルを用いて湿式混合により混合した。その後、スプレードライヤーにて造粒を実施し、造粒粉を製造した。当該造粒粉を金型で所定の形状に成形し、さらに冷間静水圧成形（CIP）で加圧を行ない、成形体を得た。引き続き当該成形体を圧力0.4MPaの窒素雰囲気中で1650に加熱して焼結することで（常圧焼結）、上記立方体試験片を製造した。

【0086】

その後、当該試験片を切断し、切断された面をダイヤモンドラップ盤でラッピングした後、酸化クロムラップ盤による鏡面ラッピングを実施することにより、立方体の中心を含む観察用の断面を形成した。そして、当該断面を光学顕微鏡（株式会社ニコン製、マイクロフォト-FXA）の斜光で観察し、倍率50倍のインスタント写真（フジフィルム株式会社製FP-100B）を撮影した。その後、得られた写真の画像を、スキャナーを用いて（解像度300DPI）パーソナルコンピュータに取り込んだ。そして、画像処理ソフト（三谷商事株式会社製WinROOF）を用いて輝度閾値による2値化処理を行なって（本実施例での2値化分離閾値：140）、白色領域の面積率を測定した。

【0087】

次に、試験結果について説明する。図8は、試験片の上記観察用の断面を光学顕微鏡の斜光で撮影した写真である。また、図9は、図8の写真の画像を、画像処理ソフトを用いて輝度閾値により2値化処理した状態を示す一例である。また、図10は、図8の写真の画像を、画像処理ソフトを用いて輝度閾値により2値化処理して白色領域の面積率を測定する際に、画像処理を行なう領域（評価領域）を示す図である。図8において、写真上側が試験片の表面側であり、上端が表面である。

【0088】

図8および図9を参照して、上記実施の形態と同様の製造方法により作製された本実施例における試験片は、表面を含む領域に内部よりも白色領域の少ない層が形成されていることがわかる。そして、図10に示すように、撮影された写真の画像を試験片の最表面からの距離に応じて3つの領域（最表面からの距離が150μm以内の領域、150μmを超え500μm以内の領域、500μmを超え800μm以内の領域）に分け、領域毎に画像解析を行なって白色領域の面積率を算出したところ、表3に示す結果が得られた。表3においては、図10に示した各領域を1視野として、無作為に撮影された5枚の写真から得られる5視野における白色領域の面積率の、平均値と最大値とが示されている。

【0089】

【表3】

	最表面からの深さ (μm)	白色領域の面積率(%)	
		5視野平均	5視野最大値
1)高緻密層	150	1.2	3.5
2)緻密層	150~500	3.7	7.0
3)内部	>500	18.5	22.4

【0090】

表3を参照して、本実施例における白色領域の面積率は、内部において18.5%であったのに対し、表面からの深さが500μm以下である領域においては3.7%、表面からの深さが150μm以下の領域においては1.2%となっていた。このことから、上記実施の形態と同様の上記製造方法により作製された本実施例における試験片においては、表面を含む領域に内部よりも白色領域の少ない緻密層および高緻密層が形成されていることが確認された。

【実施例4】

【0091】

以下、本発明の実施例4について説明する。本発明の工作機械用転がり軸受を構成するサイアロン焼結体からなる転動体の転動疲労寿命を確認する試験を行なった。試験の手順は以下のとおりである。

【0092】

まず、試験の対象となる試験軸受の作製方法について説明する。はじめに、燃焼合成法で作製した組成が Si_5AlON_7 であるサイアロンの粉末（株式会社イスマンジェイ製、商品名メラミックス）を準備し、上記実施の形態において図7に基づいて説明した転動体の製造方法と同様の方法で直径 9.525 mm の $3/8$ インチセラミック球を作製した。具体的な製造方法は次のとおりである。まず、サブミクロンに微細化されたサイアロン粉末と、焼結助剤としての酸化アルミニウム（住友化学株式会社製、AKP30）および酸化イットリウム（H.C.Starcck社製、Yttrium oxide grade C）とをボールミルを用いて湿式混合により混合した。その後、スプレードライヤーにて造粒を実施し、造粒粉を製造した。当該造粒粉を金型で球体に成形し、さらに冷間静水圧成形（CIP）で加圧を行ない球状の成形体を得た。

【0093】

次に、当該成形体に対して焼結後の加工代が所定の寸法となるようにグリーン体加工を行ない、引き続き当該成形体を圧力 0.4 MPa の窒素雰囲気中で 1650°C に加熱して焼結することで、焼結球体を製造した。次に、当該焼結球体にラッピング加工を行ない、 $3/8$ インチセラミック球（転動体；JIS等級G5）とした。そして、別途準備した軸受鋼（JIS規格SUJ2）製の軌道輪と組み合わせて、JIS規格6206型番の軸受を作製した。ここで、上記焼結球体に対するラッピング加工により除去される焼結球体の厚み（加工代）を8段階に変化させ、8種類の軸受を作製した（実施例A～H）。一方、比較のため、窒化珪素および焼結助剤からなる原料粉末を用いて加圧焼結法により焼結した焼結球体（日本特殊陶業株式会社製EC141）に対して、上述と同様にラッピング加工を行ない、別途準備した軸受鋼（JIS規格SUJ2）製の軌道輪と組み合わせて、JIS規格6206型番の軸受を作製した（比較例A）。ラッピング加工による加工代は 0.25 mm とした。

【0094】

次に、試験条件について説明する。上述のように作製されたJIS規格6206型番の軸受に対し、最大接触面圧 P_{max} ： 3.2 GPa 、軸受回転数： 2000 rpm 、潤滑：タービン油VG68（清浄油）の循環給油、試験温度：室温、の条件の下で運転する疲労試験を行なった。そして、振動検出装置により運転中の軸受の振動を監視し、転動体に破損が発生して軸受の振動が所定値を超えた時点で試験を中止するとともに、運転開始から中止までの時間を当該軸受の寿命として記録した。なお、試験数は実施例、比較例ともに15個ずつとし、その L_{10} 寿命を算出した上で、比較例Aに対する寿命比で耐久性を評価した。

【0095】

【表 4】

	加工代(mm)	L ₁₀ 寿命(時間)	寿命比
実施例 A	0.05	6492	3.19
実施例 B	0.10	6387	3.14
実施例 C	0.15	6404	3.15
実施例 D	0.20	3985	1.96
実施例 E	0.30	4048	1.99
実施例 F	0.40	3945	1.94
実施例 G	0.50	3069	1.51
実施例 H	0.60	867	0.43
比較例 A	0.25	2036	1.00

10

【0096】

表 4 に本実施例の試験結果を示す。表 4 を参照して、実施例の軸受の寿命は、その製造コスト等を考慮するといずれも良好であるといえる。そして、加工代を 0.5 mm 以下とすることにより転動体の表面に緻密層を残存させた実施例 D ~ G の軸受の寿命は、比較例 A の寿命の 1.5 ~ 2 倍程度となっていた。さらに、加工代を 0.15 mm 以下とすることにより転動体の表面に高緻密層を残存させた実施例 A ~ C の軸受の寿命は、比較例 A の寿命の 3 倍程度となっていた。このことから、本発明の工作機械用転がり軸受は、耐久性において優れていることが確認された。そして、工作機械用転がり軸受は、サイアロン焼結体からなる転動体の加工代を 0.5 mm 以下として、表面に緻密層を残存させることにより寿命が向上し、加工代を 0.15 mm 以下として、表面に高緻密層を残存させることにより寿命がさらに向上することが分かった。

20

【0097】

今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて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が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

30

【0098】

本発明の工作機械用転がり軸受は、転動体の軽量化および耐焼付性の向上などが求められる工作機械用転がり軸受に、特に有利に適用され得る。

【図面の簡単な説明】

【0099】

【図 1】本発明の一実施の形態における工作機械用転がり軸受を備えた工作機械の主軸付近の構成を示す概略断面図である。

【図 2】アンギュラ玉軸受の構成を示す概略断面図である。

【図 3】図 2 の要部を拡大して示した概略部分断面図である。

【図 4】円筒ころ軸受の構成を示す概略断面図である。

40

【図 5】図 4 の要部を拡大して示した概略部分断面図である。

【図 6】本発明の一実施の形態における工作機械用転がり軸受の製造方法の概略を示す図である。

【図 7】本発明の一実施の形態におけるサイアロン焼結体からなる転動体の製造方法の概略を示す図である。

【図 8】試験片の観察用の断面を光学顕微鏡の斜光で撮影した写真である。

【図 9】図 8 の写真の画像を、画像処理ソフトを用いて輝度閾値により 2 値化処理した状態を示す一例である。

【図 10】画像処理を行なう領域（評価領域）を示す図である。

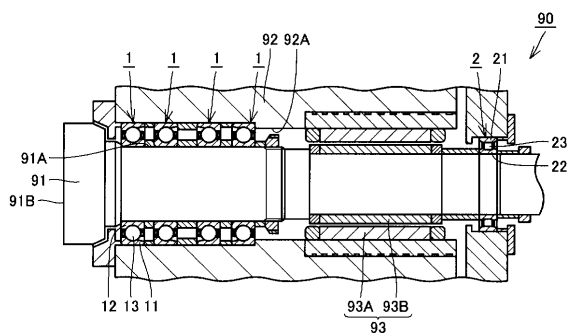
【符号の説明】

50

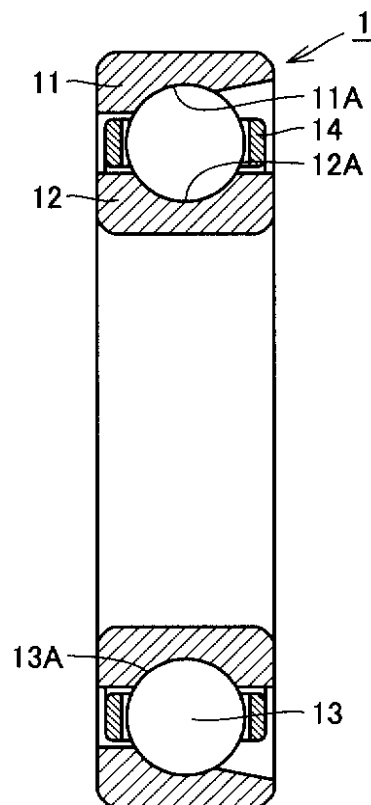
【 0 1 0 0 】

1 アンギュラ玉軸受、2 円筒ころ軸受、11, 21 外輪、11A, 21A 外輪転走面、12, 22 内輪、12A, 22A 内輪転走面、13 玉、13A 玉転走面、13B 玉緻密層、13C, 23C 内部、13D 玉高緻密層、14, 24 保持器、23 円筒ころ、23A ころ転走面、23B ころ緻密層、23D ころ高緻密層、90 工作機械、91 主軸、91A 外周面、91B 先端、92 ハウジング、92A 内壁、93 モータ、93A モータステータ、93B モータロータ。

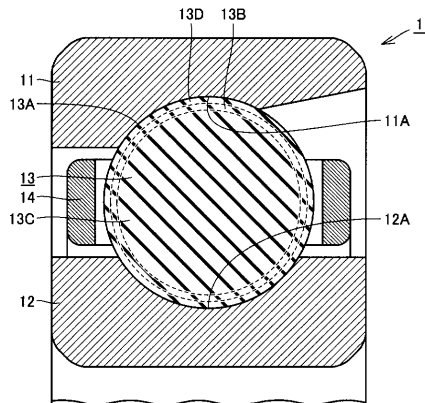
【 図 1 】



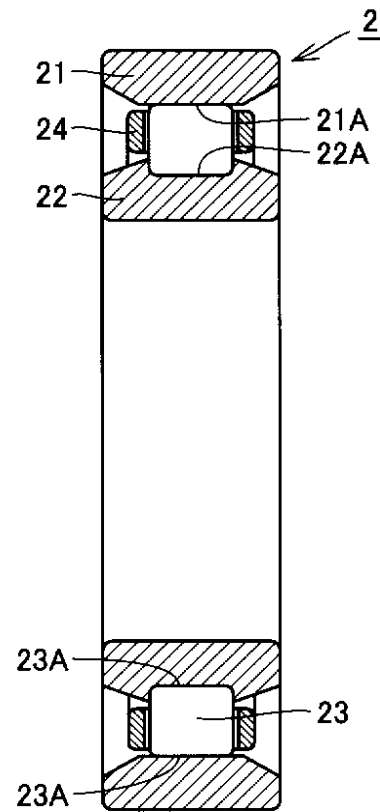
【 図 2 】



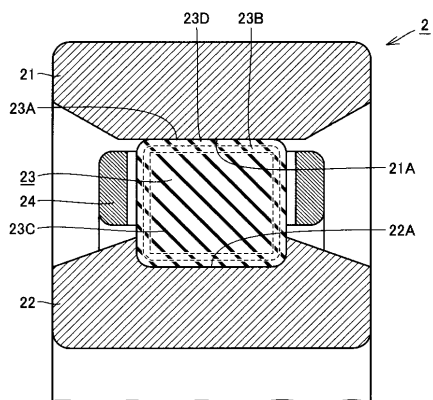
【図 3】



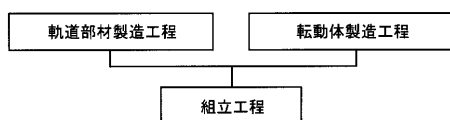
【図 4】



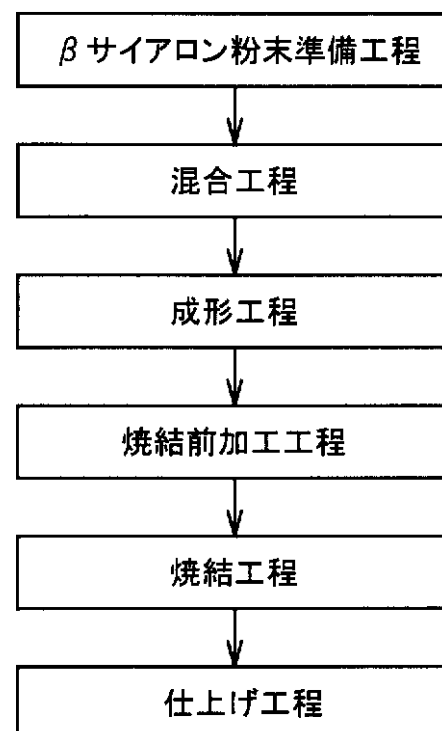
【図 5】



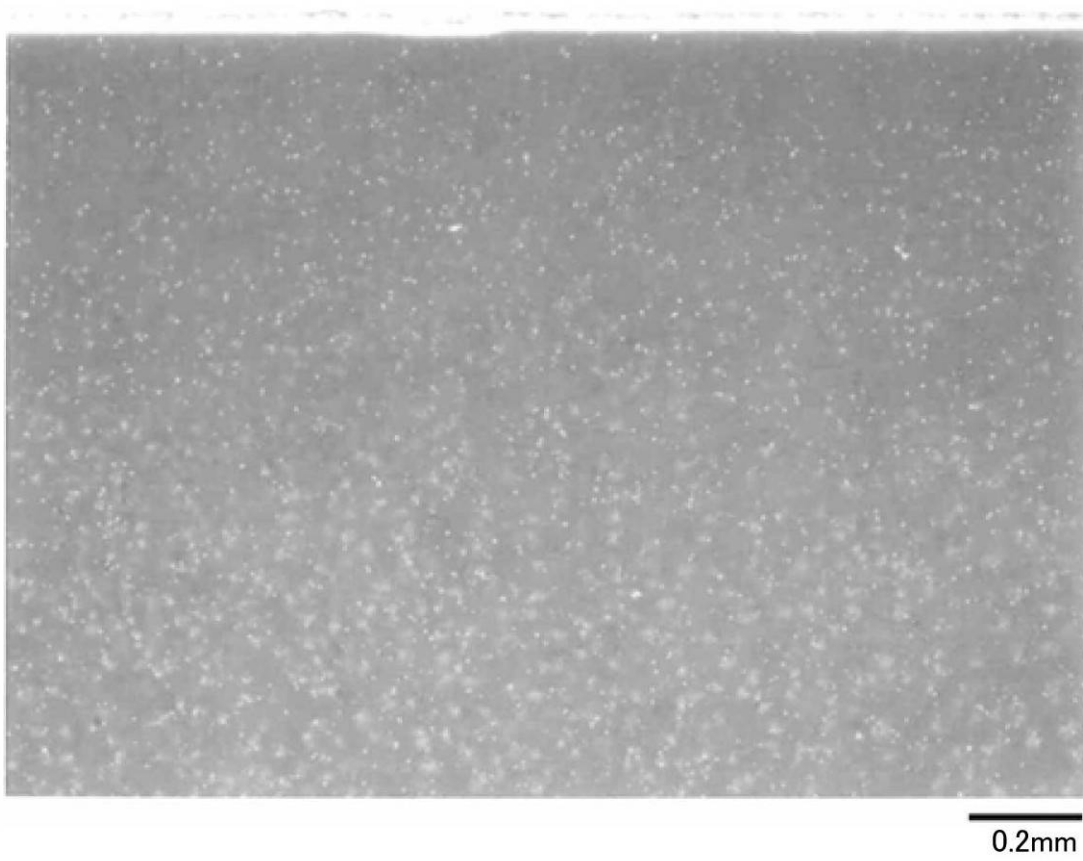
【図 6】



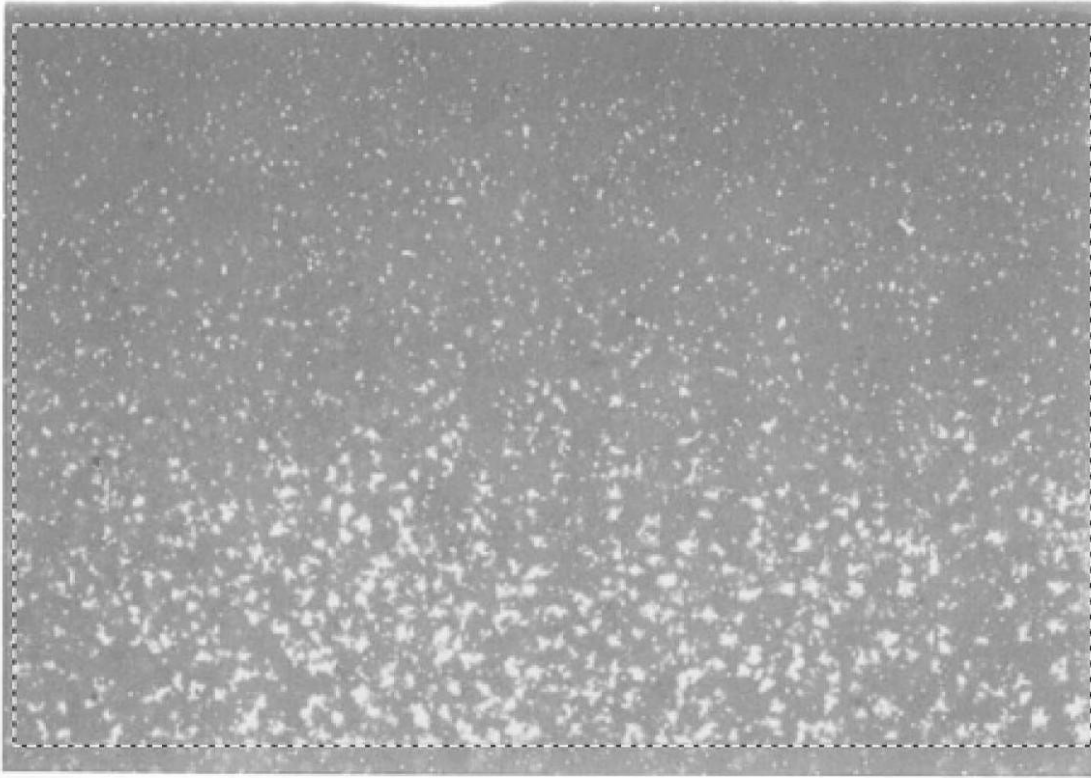
【図 7】



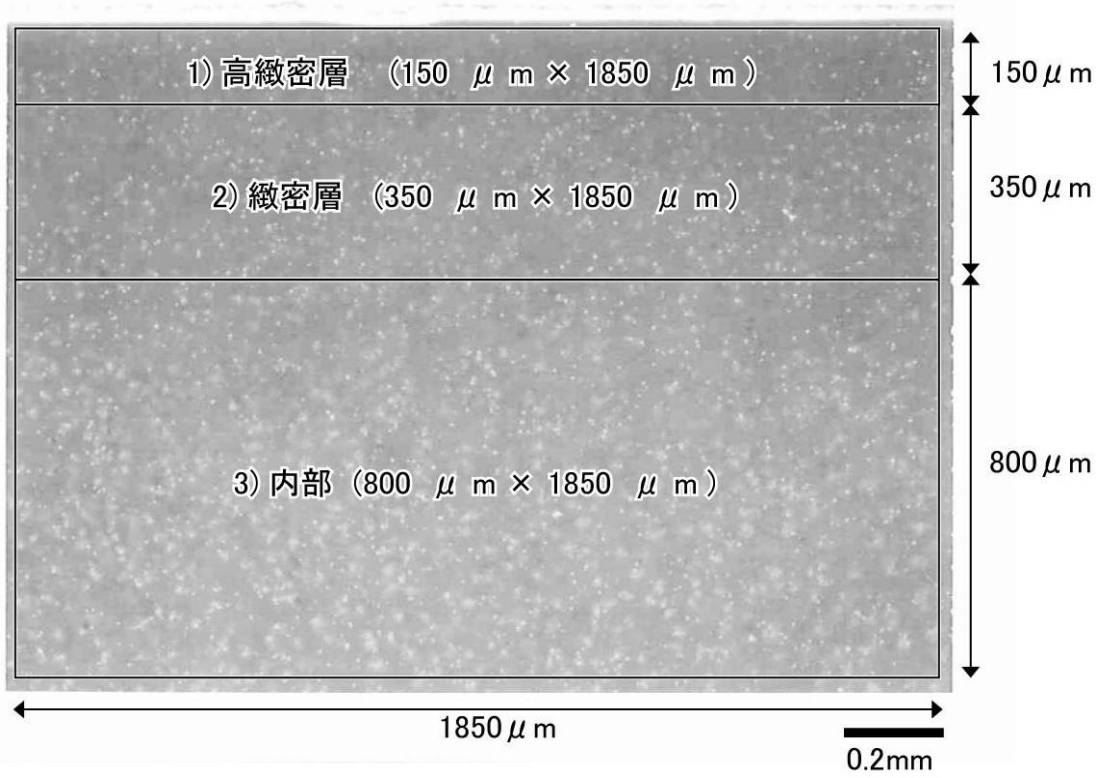
【 図 8 】



【 図 9 】



【図 10】



フロントページの続き

(74)代理人 100111246

弁理士 荒川 伸夫

(72)発明者 瀧内 博志

三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 N T N株式会社内

(72)発明者 片岡 俊之

三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 N T N株式会社内

(72)発明者 村松 勝利

三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 N T N株式会社内

Fターム(参考) 3C045 FD12

3J701	AA03	AA13	AA32	AA42	AA52	AA54	AA62	BA09	BA10	BA52
	BA55	BA69	DA03	DA20	EA02	EA10	EA44	EA70	EA75	FA31
	GA31	XB03	XB33	XB37	XE03	XE22	XE30			