

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年9月24日(24.09.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/141807 A1

- (51) 国際特許分類:
F16C 33/64 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01)
B22F 1/00 (2006.01) C22C 38/12 (2006.01)
B22F 3/10 (2006.01) F16C 19/06 (2006.01)
B22F 3/24 (2006.01) F16C 33/62 (2006.01)
B22F 5/00 (2006.01) F16C 33/78 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/058368
- (22) 国際出願日: 2015年3月19日(19.03.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-058001 2014年3月20日(20.03.2014) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): N T N 株式会社 (NTN CORPORATION) [JP/JP]; 〒5500003 大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (71) 出願人(米国についてのみ): 八代 尚樹 (YASHIRO Naoki) [JP/JP]; 〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内 Mie (JP). 伊藤 雄太 (ITOYU Yuuta) [JP/JP]; 〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘5丁目10

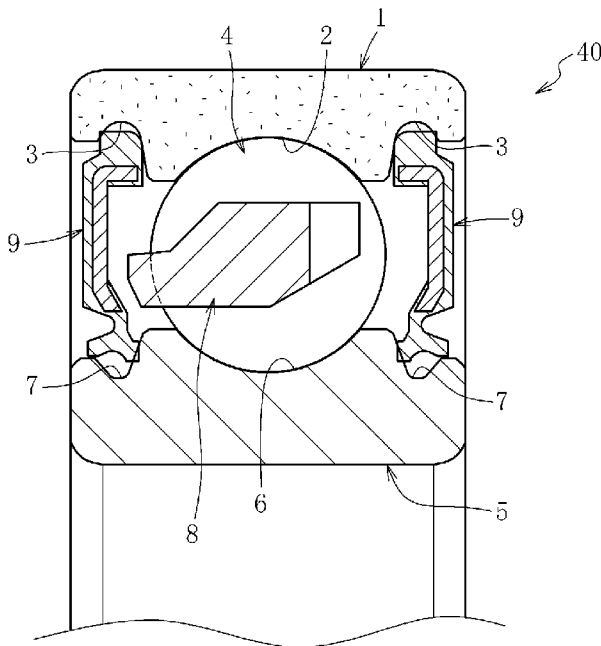
5番 NTN株式会社内 Mie (JP). 奥野 孝洋 (OKUNO Takahiro) [JP/JP]; 〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内 Mie (JP). 大平 晃也(OOHIRA Kouya) [JP/JP]; 〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内 Mie (JP).

- (74) 代理人: 城村 邦彦, 外(SHIROMURA Kunihiko et al.); 〒5500002 大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 江原特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) Title: BEARING RING AND ROLLER BEARING HAVING SAID BEARING RING

(54) 発明の名称: 軌道輪および該軌道輪を有する転がり軸受



(57) Abstract: In the present invention, by means of compression molding a partially diffused alloy steel powder and then sintering, a sintered metal element (10') is formed, and by means of plastic working of the sintered metal element (10'), a raceway surface (2) is formed, producing a bearing ring (1). At least the risk volume of the bearing ring (1) is considered a predicted volume, and the square root ($\sqrt{\text{area}_{\text{max}}}$) of the envelope area of the largest pore estimated to be present in at least the predicted volume is set to be less than 50 μm . As a result, provided is a roller bearing that, while being low in cost, has an increased rolling fatigue life.

(57) 要約: 部分拡散合金鋼粉を圧縮成形した後、焼結することにより焼結金属素材10'を形成し、焼結金属素材10'に塑性加工で軌道面2を形成して軌道輪1を製作する。軌道輪1の少なくとも危険体積を予測体積として、少なくともこの予測体積に存在すると推定される最大空孔の包絡面積の平方根 $\sqrt{\text{area}_{\text{max}}}$ を50 μm 未満に設定する。これにより、低コストでありながら、転がり疲労寿命を向上させた転がり軸受用軌道輪を提供する。

WO 2015/141807 A1

ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 軌道輪および該軌道輪を有する転がり軸受

技術分野

[0001] 本発明は、軌道輪および該軌道輪を有する転がり軸受に関する。

背景技術

[0002] 転がり軸受の構成部材である軌道輪（例えば内輪や外輪）は、ボールやころ等の転動体が転動する軌道面を有している。この種の軌道輪は、中実の金属素材（溶製材）に切削等の機械加工あるいは鍛造等の塑性加工を施すことで略完成品形状の中間加工品を得る工程、中間加工品に焼入れ等の熱処理を施す熱処理工程、および特に高精度が要求される部位に研削、研磨等の仕上げ加工を施す仕上げ工程などを経て最終製品に仕上げられるのが一般的である。

[0003] 既存の軌道輪の製造方法において、中間加工品を得るために機械加工を選択した場合、高精度の中間加工品を得ることができるという利点はあるが、加工量が多く材料ロスが大きいため歩留の向上を図る上で難がある。また、加工量が多く、加工工具を頻繁に交換する必要があるためにダウンタイムが長くなり易く、生産効率を有効に高め得ないという問題もある。これらの問題は、軌道輪が複雑形状を呈する場合ほどその傾向が大きくなる。一方、中間加工品を得るために塑性加工を選択すると、中間加工品の製作段階における材料ロスを少なくすることができるという利点はあるが、機械加工ほどの加工精度を確保することが難しいために入念かつ大幅な仕上げ加工が必要となる。そのため、仕上げ加工に手間とコストを要し、また、期待するほどの材料ロスの軽減効果を得られないのが実情である。

[0004] このように、溶製材から軌道輪を得るようにした場合、上述した各理由から、軌道輪、ひいては転がり軸受の低コスト化に限界が生じる。そこで、例えば下記の特許文献1～3に記載されているように、軌道輪としての内輪又は外輪を焼結金属（金属焼結体）で形成する提案がなされている。

[0005] 特許文献1には、ガスアトマイズした高速度工具鋼粉をCIP法（冷間等方圧加圧法）＋熱間押出法、もしくはHIP法（熱間等方圧加圧法）で焼結することで、最大空孔の真円換算直径が $3\mu\text{m}$ 以下で、最大炭化物の真円換算直径が $12\mu\text{m}$ 以下であり、かつ硬さがHRC64を超え69未満の軌道輪や転動体を製作する旨が開示されている。

特許文献2には、ガスアトマイズした、クロムを多く含む所定組成の鋼粉末をHIP法で焼結した軸受部品が開示されている。

特許文献3には、焼結体に塑性加工で軌道面を形成することで、相対密度を80%以上100%未満にした軸受用軌道輪が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第2876715号公報

特許文献2：特開2012-533688号公報

特許文献3：特開2012-127492号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特許文献1で使用される高速度工具鋼粉末は、クロム、タングステン、モリブデン、バナジウム等を多く含む鋼粉末であるため、高価である。特許文献2で使用される粉末も入手困難な特殊粉末であり、同様の問題を生じる。また、何れの粉末もガスアトマイズされた完全合金鋼粉であるために圧縮性が低い。従って、高密度化するためにHIPやCIP等の量産性の低い焼結工程を用いざるを得ない。以上から、特許文献1および2に開示された軌道輪や転がり軸受では、製造コストが高騰する問題がある。

[0008] また、特許文献3では、機械的強度確保のために軌道輪の相対密度を向上させる旨が記載されているが、軌道輪全体が高密度でも、軌道面付近に粗大気孔を生じる可能性がある。その場合、この粗大気孔が起点となって軌道面の剥離等を生じるおそれがあり、軌道輪の転動疲労寿命が不十分となる。

[0009] そこで、本発明は、低コストでありながら、転がり疲労寿命を向上させた転がり軸受用軌道輪および該軌道輪を用いた転がり軸受を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明にかかる軸受用軌道輪は、転動体が転動する軌道面を有し、前記軌道面が焼結金属素材に塑性加工を施すことで形成されているものであって、前記焼結金属素材が、部分拡散合金鋼粉を圧縮成形した後、焼結することにより形成され、危険体積を予測体積として、該予測体積に存在すると推定される最大空孔の包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ が $50\mu\text{m}$ 未満（好ましくは $40\mu\text{m}$ 未満、より好ましくは $30\mu\text{m}$ 未満）であることを特徴とするものである。

[0011] また、本発明にかかる軸受用軌道輪は、転動体が転動する軌道面を有し、前記軌道面が焼結金属素材に塑性加工を施すことで形成されているものであって、前記焼結金属素材が、部分拡散合金鋼粉を圧縮成形した後、焼結することにより形成され、軌道面に生じる接触楕円の軸方向幅の範囲で最大せん断応力を生じる深さに至るまでの領域を予測体積として、該予測体積に存在すると推定される最大空孔の包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ が $50\mu\text{m}$ 未満（好ましくは $40\mu\text{m}$ 未満、より好ましくは $30\mu\text{m}$ 未満）であることを特徴とするものである。

[0012] これらの構成により、軌道面周辺の焼結組織に粗大空孔が存在しなくなるので、この粗大空孔を起点として軌道輪にフレーキング等の損傷が生じるのを防止することができ、溶製材に匹敵する転動疲労寿命を得ることが可能となる。

[0013] また、部分拡散合金鋼粉としてFe-Ni-Mo系を使用すれば、この粉末が軟らかいため、圧縮成形時に高密度化することができる。従って、塑性加工による緻密化の作用と併せて、軌道面周辺での粗大気孔の発生を回避することができる。また、軌道面等を塑性加工で成形する際の成形性も良好なものとなる。

[0014] また、部分拡散合金鋼粉として、水アトマイズされた鋼粉もしくは純鉄粉に合金成分を拡散接合させたものを使用すれば、軌道輪、延いては転がり軸受の低コスト化を図ることができる。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、低コストでありながら、転がり疲労寿命を向上させた軌道輪を提供することができる。従って、この軌道輪を転がり軸受の構成部品として用いることで、転がり軸受の低コスト化を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1a]外輪の断面図である。

[図1b]塑性加工前における焼結金属素材の断面図である。

[図2]軌道輪の製造工程を示すブロック図である。

[図3]塑性加工工程を示す断面図である。

[図4a]内輪の断面図である。

[図4b]塑性加工前における焼結金属素材の断面図である。

[図5]玉軸受の拡大断面図である。

[図6]玉軸受の断面図である。

[図7a]転動疲労寿命試験前の内輪を示す写真である。

[図7b]転動疲労寿命試験後の内輪を示す写真である。

[図8a]転動疲労寿命試験前の内輪を示す拡大写真である。

[図8b]転動疲労寿命試験後の内輪を示す拡大写真である。

[図9]転動疲労寿命試験の結果を示す表である。

[図10]実施例1と比較例1の各断面の拡大写真である。

[図11]外輪を軌道面側から見た平面図である。

[図12]二物体の接触を表すモデル図である。

[図13]接触面下の等応力線図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

[0018] 図1aに、本発明の一実施形態に係る転がり軸受用軌道輪の断面図を示す

。同図に示す軌道輪は単列の玉軸受の構成部材である外輪 1 であり、その内径面の軸方向略中央部に、転動体としてのボールが転動する環状の軌道面 2 を有する。軌道面 2 の軸方向両側には、シール部として環状のシール取り付け溝 3 が形成されている。シール取り付け溝 3 には、図 5 に示すように、外輪 1 の内周面と内輪 5 の外周面との間の空間をシールするシール部材 9 が固定される。シール部材 9 としては、同図に示すように相手側の軌道輪（内輪 5）に接触するものの他、相手側の軌道輪に対して非接触となるものも含まれる。

[0019] この外輪 1 は、原料粉末を圧縮成形して圧粉体を形成し、この圧粉体を焼結温度以上で加熱することによって焼結させた焼結金属で形成される。この実施形態において、軌道面 2 およびシール取り付け溝 3 は、焼結金属素材の内周面に塑性加工を施すことによって成形された塑性加工面である。外輪 1 の少なくとも軌道面 2 は、熱処理により硬化されている。

[0020] この外輪 1 は、図 2 に示す原料粉末準備工程 S 1、圧縮成形工程 S 2、脱脂工程 S 3、焼結工程 S 4、塑性加工工程 S 5、熱処理工程 S 6、および仕上げ工程 S 7 を経て製造される。

[0021] 原料粉末準備工程 S 1 では、鉄系低合金粉末と、炭素固溶源としての炭素粉末と、成形時の潤滑を担う成形用潤滑剤とを混合して原料粉末が製造される。

[0022] 鉄系低合金粉末としては、合金成分として Ni および Mo を含み、残部を Fe 及び不可避免的不純物とした Ni-Mo 系の部分拡散合金鋼粉が使用される。この実施形態で使用する部分拡散合金鋼粉は、Fe-Mo 合金の周囲に Ni を拡散接合させたものである。このように、Fe 合金に Ni 等の金属を拡散付着させることで、Fe と Ni とを完全に合金化した鋼粉（プレアロイ鋼粉）と比べて、焼結前の合金鋼粉の硬さが抑えられるため、圧縮成形時の成形性が確保される。その結果、比較的多量の Ni を配合することが可能となる。具体的に、本実施形態の部分拡散合金鋼粉における Ni の配合割合は、0.5~5.0 wt%、好ましくは 1.7~2.2 wt% とされる。一方

、Moは、多量に添加してもその効果は飽和して、かえって成形性を悪化させる原因となる。このため、部分拡散合金鋼粉におけるMoの配合割合は、0.5～3.0wt%、好ましくは0.8～1.1wt%、より好ましくは0.9～1.1wt%とされる。

[0023] 部分拡散合金鋼粉のベースとなる鋼粉としては、アトマイズ粉や還元粉等が存在するが、還元粉は粒子が多孔質で高密度化が困難であるため、本実施形態では、空孔を有しない中実のアトマイズ粉、特にコスト面も考えて水アトマイズ粉を使用する。なお、部分拡散合金鋼粉の例として、Fe-Mo合金の周囲にNiを拡散接合させたものを例示したが、純鉄粉の周囲にNiやMoを拡散接合させた合金粉を使用することもできる。

[0024] この部分拡散合金鋼粉は軟質であり、純鉄粉と同程度の硬さを有する。部分拡散合金鋼粉の硬さの目安として、マイクロビッカース硬度で120HV0.05未満、望ましくは100HV0.05未満、より好ましくは90HV0.05未満のものが使用される。この硬度は、特許文献3で使用される、Fe-Cr-Mo系の完全合金粉末（プレアロイ粉末）における粒子の硬さ（概ね120HV0.05以上）に比べて低い。そのため、この種の完全合金粉末に比べ、同一の加圧力でもより高密度化させやすくなる。

[0025] この部分拡散合金鋼粉としては、粒径が最大で500 μ m以下（好ましくは250 μ m以下、より好ましくは200 μ m以下）のものを使用するのが望ましい。この粒径は、目開きが上限粒径（例えば500 μ m）である篩を使用して、入手した粉末を篩分けすることで得ることができる。500 μ mを越える粗大粉末が含まれていると、後述の圧縮成形工程S2での充填性が悪化し、焼結組織中に粗大空孔が発生し易くなる。微細な粒子径を有する合金鋼粉では、金型での粉末の流動性低下を防止するため、造粒により粒径を大きくする場合があるが、本実施形態の部分拡散合金鋼粉は粒子径が大きく、流動性も良好であるので、造粒は基本的に不要である。

[0026] 炭素粉末としては、例えば人造黒鉛の粉末が使用される。黒鉛粉末は、粒径D90が8 μ m以下のものが使用され、好ましくは6 μ m以下、より好ま

しくは4 μm 以下のものが使用される。また、黒鉛粉末の粒径D₉₀は、2 μm 以上、好ましくは3 μm 以上のものが使用される。黒鉛粉末の配合割合は、混合粉末全体に対して0.35 wt%以下、好ましくは0.3 wt%以下、より好ましくは0.25 wt%以下とされる。また、黒鉛粉末の配合割合は、混合粉末全体に対して0.05 wt%以上、好ましくは0.1 wt%以上、より好ましくは0.15 wt%以上とされる。炭素粉末としては、黒鉛粉末の他、カーボンブラック、ケッチェンブラック、ナノカーボン粉末などを使用することもできる。これらの何れかの粉末を二種以上使用することも可能である。

[0027] 成形用潤滑剤としては、金属石けん（例えばステアリン酸亜鉛）やアミドワックス（例えばエチレンビスステアルアミド）等の公知の潤滑剤粉末を任意に選択して使用することができる。本発明の目的を果たす上では、焼結後に素材内部に残存しない成分であれば潤滑剤粉末の種類は問わない。また、二種類以上の成形用潤滑剤を併用することもできる。

[0028] 圧縮成形工程S2では、成形金型のキャビティに上記の原料粉末を投入・充填し、これを圧縮することで圧粉体10を成形する。この時の成形は、一軸および多軸加压成形、CNCプレス成形などの連続生産に適した成形機で行われる。図1bに示すように、圧縮成形工程S2にて成形される圧粉体10は、図1aに示す外輪1と同様のリング状に成形されるが、その内径面および外径面の双方は凹凸のない平滑な円筒面とされている。

[0029] 圧縮成形工程S2での成形圧力は588 MPa ($6 \text{ t f} / \text{cm}^2$)以上、より好ましくは980 MPa ($10 \text{ t f} / \text{cm}^2$)以上とする。圧粉体10の成形時には、上記の高い加圧力により成形用潤滑剤が液相化し、この液相化された固体潤滑剤が原料粉末相互間に拡散・浸透する。但し、上記の成形圧力は目安にすぎない。本発明の目的を達成するためには、焼結体の密度や空孔サイズが重要となるので、使用する粉末の種類や成形条件によっては、上記成形圧力よりも低い圧力で成形しても構わない。また、さらなる高密度化のために金型および粉末を60℃以上に加温して成形する温間成形を採用し、

あるいは成形用潤滑剤の使用量を削減するために金型潤滑を用いた成形機を使用することもできる。

[0030] 脱脂工程S3では、圧粉体10に含まれる成形用潤滑剤が除去される。脱脂は、一般的な焼結金属製品を製作する場合と同様の条件で行うことができる。

[0031] 焼結工程S4では、脱脂された圧粉体10を焼結温度以上で加熱し、焼結金属素材10'を形成する。緻密で空孔の小さい焼結金属素材10'が得られるように、焼結温度は1150℃以上1350℃以下、より好ましくは1250℃以上1300℃以下とする。また、酸化による焼結性および強度の低下と、脱炭とを防止するため、窒素、水素、アルゴン等を主成分とする不活性もしくは還元性雰囲気下で焼結するのが好ましい。なお、真空下で焼結することもできる。焼結後の焼結金属素材10'は、相対密度90%以上（好ましくは95%以上、より好ましくは97%以上）を有する。

[0032] 塑性加工工程S5では、上記のようにして形成された焼結金属素材10'に対して塑性加工を施すことにより、焼結金属素材10'の内径面に軌道面2およびシール取り付け溝3が成形される。これらの成形は、例えば図3に示すような転造機（リング転造機）20を用いて同時に行うことができる。転造機20は、軌道面2およびシール取り付け溝3を成形するための型部21を外周に有する軸状のマンドレル22と、焼結金属素材10'外径面に接した状態で図示外の駆動源の出力を受けて回転するダイロール23と、マンドレル22の回転を支持するサポートロール24とを備えている。このような転造機20において、焼結金属素材10'の内周に挿通したマンドレル22をサポートロールで支持しつつ、焼結金属素材10'の内外径面をマンドレル22とダイロール23とで挟み込み、ダイロール23をサポートロール24側に押し付けつつ回転させる。これにより、焼結金属素材10'の内径面に軌道面2およびシール取り付け溝3が成形される。

[0033] 軌道面2と二つのシール取り付け溝3は、上記のように同時成形する他、個別に順次成形しても構わない。また、軌道面2とシール取り付け溝3の成

形は、金属焼結体 10' の薄肉化および大径化を伴うように行っても良いし、金属焼結体 10' の薄肉化および大径化を伴わないように行っても良い。塑性加工法は、転造に限らず、常温下で焼結金属素材 10' を回転させながら圧延する冷間ローリング加工、さらにはバニシング加工等を採用することもできる。何れの塑性加工法を採用する場合でも、冷間で塑性加工を行えば、温間あるいは熱間で塑性加工を行う場合に比べ、軌道面 2 やシール取り付け溝 3 の精度およびそれらの周辺での密度を効率的に高めることができる。

[0034] また、軌道面 2 等の塑性加工後に、軌道面 2 をはじめとする必要部位に硬質粒子を投射し、そのエネルギーで表層近傍の空孔を目潰しする加工（例えばショットピーニング）を施してもよい。

[0035] 熱処理工程 S 6 は、軌道面 2 およびシール取り付け溝 3 が成形された焼結金属素材 10' に焼入れおよび焼き戻しを行うことにより、焼結金属素材 10' の少なくとも軌道面 2 を硬化させて軌道面 2 に必要とされる転動疲労寿命を確保する工程である。焼入れの手法としては、ずぶ焼入れの他、浸炭、浸炭窒化、高周波焼入れ等の各種焼入れ処理（もしくは表面硬化処理）を採用することができる。焼入れ後に焼き戻しを行うことで、焼結金属素材内部の靱性が確保されるため、き裂の進展が抑制される。

[0036] 仕上げ工程 S 7 は、熱処理工程 S 6 を経た金属焼結体 10' の所定部位（例えば、軌道面 2 やシール取り付け溝 3）に対して研削加工、研磨加工、ラップ加工、超仕上げ加工等の仕上げ処理を一又は複数種施すことにより、金属焼結体 10' の所定部位の精度を一層高める工程である。この仕上げ工程 S 7 は、必要に応じて実行すれば足り、必ずしも実行する必要はない。なお、この仕上げ工程 S 7 で仕上げ処理を実行するにしても、その加工量（加工時間）は極めて少なく、従って歩留や加工工数に及ぼす影響は極めて軽微である。

[0037] 以上の工程を経て製作した外輪 1 は高密度であるので、溶製材からなる外輪 1 と同程度の機械的強度を得ることができる。また、軌道輪を焼結金属製とし、さらに塑性加工によって軌道面 2 およびシール取り付け溝 3 を成形し

ているため、ニヤネットシェイプ化が可能で、材料歩留りが良好となる。そのため、転がり軸受の低コスト化を図ることができる。

[0038] 次に転がり軸受の構成を説明する。

図5は、転がり軸受の一種である単列の玉軸受40を示すものである。同図に示す玉軸受40は、内径面に環状の軌道面2が設けられた外輪1と、外径面に環状の軌道面6が設けられた内輪5と、両軌道面2, 6の間に配された転動体としての複数のボール4と、ボール4を円周方向所定間隔で保持する保持器8と、ボール4の軸方向両側に配設されたシール部材9とを備えている。各シール部材9の内径端部は、内輪5の外周面に設けられたシール溝7と接触して接触シールを構成している。シール部材9の外径端部は外輪1のシール取り付け溝3に圧入固定されている。

[0039] 図5に示す玉軸受の外輪1のみならず、内輪5も上記の製造手順で製造することができる。この場合、上記と同様に原料粉末準備工程S1および圧縮成形工程S2を経て図4bに示す円筒状の圧粉体15が製作され、次いで、脱脂工程S3および焼結工程S4を経て焼結金属素材15'が製作される。その後、塑性加工工程S5で軌道面6およびシール部としてのシール溝7が成形される。その後、熱処理工程S6、および仕上げ工程S7を経ることで、図4aに示す内輪5が完成する。

[0040] 図5では、転がり軸受として単列の玉軸受を例示しているが、これ以外にも、円筒ころ軸受、円すいころ軸受、針状ころ軸受、アンギュラ玉軸受等のような他のタイプの転がり軸受における軌道輪の製造工程にも上記の製造手順を適用することができる。もちろん、単列タイプの転がり軸受用軌道輪のみならず、複列タイプの転がり軸受用軌道輪や、スラスト軌道面を有するスラスト転がり軸受の軌道輪にも上記の製造手順を適用することができる。また、軸受用途によっては、シール取り付け溝3やシール溝を省略した軌道輪、さらにはシール部材9を有しない転がり軸受にも上記の製造手順を適用することができる。

[0041] ところで、上記の製造手順のように、軌道面2（シール取り付け溝3も含

む)を塑性加工すれば、焼結金属素材10'の少なくとも軌道面2周辺では、塑性加工時の加圧力がおよびにくい領域、例えば焼結金属素材10'の厚み方向の中央部に比べて多孔質組織を一層緻密化(高密度化)することができる。軌道面2の周辺が緻密に形成されれば、応力集中源となる粗大気孔が少なくなり、それを起点とした軌道面2の剥離等も発生し難くなることから、軌道輪の繰り返し疲労強度をさらに向上させることができると考えられる。

[0042] このように軌道面周辺の粗大気孔の有無は軌道輪の耐久寿命に大きな影響を与えると考えられるため、軌道輪の耐久寿命を評価するためには、粗大気孔の存在の程度を何らかの形で数値化することが望まれる。数値化する一つの手段として、特許文献3に記載のように、焼結金属素材10'の相対密度を規定することが考えられる。ここで、相対密度は以下に示す式(1)で表されるものである。

[数1]

$$\text{相対密度}[\%] = \frac{\text{素形材および軌道輪の密度}}{\text{真密度}} \times 100 \quad (\text{式1})$$

[0043] なお、式(1)における真密度 $[\text{g}/\text{cm}^3]$ は溶製材のように素材内部に空孔が存在しない材料の理論密度を意味し、詳細には下記の式(2)から求めることができる。

[数2]

$$\text{真密度} = \frac{100}{\left(\frac{\text{元素Aの配合率}}{\text{元素Aの密度}}\right) + \left(\frac{\text{元素Bの配合率}}{\text{元素Bの密度}}\right) + \left(\frac{\text{元素Cの配合率}}{\text{元素Cの密度}}\right) + \dots} \quad (\text{式2})$$

[0044] 例えば、Fe、Crの化学成分が87.0、13.0 [wt%]であるステンレス材の真密度は、上記各元素の密度がそれぞれ7.87、7.15 $[\text{g}/\text{cm}^3]$ であることから、下記の式(3)のとおりとなる。

[数3]

$$\text{真密度} = \frac{100}{\left(\frac{87.0}{7.87}\right) + \left(\frac{13.0}{7.15}\right)} \doteq 7.87 \quad (\text{式 3})$$

[0045] しかしながら、相対密度は軌道輪全体の緻密化の程度を評価する上では有効な尺度であるにしても、軌道面周辺に限った領域での粗大気孔の有無を評価する上では必ずしも有効ではない。例えば、軌道輪全体の相対密度が下限値を超えていても、軌道面周辺に数は少ないながらも粗大気孔が存在する場合があります、この粗大気孔が剥離の起点となることが予想される。軌道輪のうち、軌道面周辺に限った相対密度を規定することも考えられるが、そのような軌道輪の一部領域の相対密度を厳密に測定することは容易ではない。また、塑性加工により緻密化されるべき領域は、本来、軌道面2に負荷される荷重（面圧）に応じて決定すべきである。

[0046] 以上の検証に基づき、本発明では、軌道輪のうち、少なくとも軌道輪の危険体積（一般に最大せん断応力の90%以上の応力が掛かる深さ）の領域に内在すると推定される最大空孔の包絡面積の平方根 $\sqrt{\text{area}_{\text{max}}}$ [$(\text{area}_{\text{max}})^{1/2}$] に着目した。

[0047] ここで、危険体積は、軌道面の剥離を生じる危険性のある部分の体積を意味し、

危険体積 = (接触楕円長径) × (軌道面の円周方向長さ) × (最大せん断応力の90%が作用する深さ)

で表される。

[0048] また、最大せん断応力 τ_{45} （表面に対して45°傾いて作用する最大せん断応力）の深さは、以下に述べる手法で計算することができる。

[0049] 例えば、溶製材製6206型番の転がり軸受（材質：S U J 2、ヤング率21200 kg f / mm²、ポアソン比：0.33）の内輪の場合を記述する。

・ 球の直径 : 9.525 mm → 半径4.7625 mm

- ・球数 : 8ヶ
- ・内輪溝径 : 9.716 mm → 半径4.858 mm
- ・内輪溝底径 : 36.975 mm → 半径18.4875 mm

[0050] 図12に記載の二物体の接触を考え、以下、物体1を内輪、物体2をボール（球）として考える。

接触物体の主曲率 ρ の総和 $\Sigma\rho$ は、

[数4]

$$\Sigma\rho = \rho_{1I} + \rho_{1II} + \rho_{2I} + \rho_{2II} = 1/4.7625 + 1/4.7625 + 1/18.4875 + 1/4.858 \approx 0.268$$

で表される。

なお、主曲率 ρ は半径の逆数であり、凸面では正、凹面では負の符号を持つ。

[0051] また、以後の計算で用いる補助変数 $\cos\tau$ は、

[数5]

$$\cos\tau = \frac{\sqrt{(\rho_{1I} - \rho_{1II})^2 + 2(\rho_{1I} - \rho_{1II})(\rho_{2I} - \rho_{2II})\cos 2\omega + (\rho_{2I} - \rho_{2II})^2}}{\Sigma\rho} \approx 0.969$$

である。

ヘルツ接触の係数 μ ・ポアソン比・油の動粘度 ν は、各種資料に記載されている代表的な数値の上下限の中央値を採用することができる。ここでは、 $\mu=4.99$ 、 $\nu=0.359$ とした。

[0052] ここで、試験荷重 F_r を x (kgf)とすると、最大転動体荷重は $F_r/球数 = x/8$ となり、接触楕円の短径 b は以下となる。

[数6]

$$b = \sqrt[3]{\frac{1.5 \times (x/8)}{\Sigma\rho \times (\Theta_1 + \Theta_2)}}$$

[数7]

$$\text{ただし、}\Theta_1 = \frac{4(1-1/m_1^2)}{E_1}、\Theta_2 = \frac{4(1-1/m_2^2)}{E_2} \text{である。}$$

(m_1 および m_2 : 内輪および球のポアソン比、 E_1 および E_2 : 内輪および球の縦弾性係数)

さらに、上記接触楕円の短径 b と τ_{45} の発生する深さ z との比 z/b の分布を、図 13 に示す。以上より、最大せん断応力深さ $Z_{\max} \doteq 0.75b$ となり、試験荷重 (例えば 630 kgf) が決まれば一義的に算出することが可能である (この場合、 $b = 0.21 \text{ mm}$ となる)。

[0053] なお、補助変数 $\cos \tau$ 、ヘルツ接触の係数と μ 、および油の動粘度 ν は、完全楕円積分を媒介として以下の各式から算出することもできる。

[数8]

$$\cos \tau = \frac{(2 - \kappa^2)E - 2(1 - \kappa^2)K}{\kappa^2 E}$$

[数9]

$$\mu = \sqrt[3]{\frac{1}{1 - \kappa^2} \frac{2E}{\pi}}$$

[数10]

$$\nu = \sqrt[3]{(1 - \kappa^2)^{1/2} \frac{2E}{\pi}}$$

ここに K 、 E はそれぞれ第一種および第二種の完全楕円積分で、以下の式で表される値である。この他、数表から K および E を求めることができる。

[数11]

$$K = \int_0^{z/2} \frac{d\phi}{\sqrt{1 - \kappa^2 \sin^2 \phi}}$$

[数12]

$$E = \int_0^{z/2} \sqrt{1 - \kappa^2 \sin^2 \phi} d\phi$$

[0054] 次に、最大空孔の包絡面積の平方根 $\sqrt{\text{area}_{\max}}$ の推定手法を以下に説明する。

[0055] まず、焼結体の空孔の極値分布が二重指数分布に従うとする。これにより、極値統計を用いた空孔包絡面積の最大値の推定を行う。具体的には以下の手順を経て、推定最大空孔包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ が算出される。

[0056] 鏡面研磨を施した試験片について顕微鏡観察を行い、定めた基準面積 S_0 (mm^2) の y 領域の画像を取得する。得られた画像について画像解析ソフトを用いて二値化し、空孔の包絡面積を解析する。得られた包絡面積のうち最も大きなものを基準面積 S_0 (mm^2) 中の最大空孔包絡面積とし、その平方根をその領域における $\sqrt{area_{max}}$ とする。この測定を、検査領域を変えて n 回繰り返す。

[0057] 測定した n 個の $\sqrt{area_{max}}$ を小さいものから順に並べ、それぞれ $\sqrt{area_{max,j}}$ ($j=1\sim n$) とする。(式13参照)

[数13]

$$\sqrt{area_{max,1}} \leq \sqrt{area_{max,2}} \leq \dots \leq \sqrt{area_{max,n}} \quad (\text{式13})$$

[0058] それぞれの j ($j=1\sim n$) について、式14で表される累積分布関数 F_j (%) および式15で表される基準化変数 y_j を計算する。

[数14]

$$F_j = \frac{j}{n+1} \times 100 \quad (\text{式14})$$

[数15]

$$y_j = -\ln\left(-\ln\frac{j}{n+1}\right) \quad (\text{式15})$$

[0059] 極値確率用紙の座標横軸に $\sqrt{area_{max}}$ を取り、上記結果をプロットして極値分布を得る(極値確率用紙の縦軸は F もしくは y を取っている)。

最小二乗法による近似直線を極値分布に対して外挿し、式16で表される a および b を得る。ただし、 y は式17で表される基準化変数、 T は式18で表される再帰期間、 V は推定対象領域の体積(mm^3)、 V_0 は式19で表される基準体積(mm^3)、 h は式20で表される測定した $\sqrt{area_{max,j}}$

の平均値 (mm) である。

[数16]

$$\sqrt{\text{area}}_{\max} = a \times y + b \quad (\text{式16})$$

[数17]

$$y = -\ln\left(-\ln\frac{T-1}{T}\right) \quad (\text{式17})$$

[数18]

$$T = \frac{V + V_0}{V_0} \quad (\text{式18})$$

[数19]

$$V_0 = S_0 \times h \quad (\text{式19})$$

[数20]

$$h = \sum \sqrt{\text{area}}_{\max,j} / n \quad (\text{式20})$$

[0060] 極値確率用紙の縦軸であるF目盛の10～85%におけるプロット点が近似直線状に乗ることを確認する。これにより、得られた極値分布が二重指数分布に従うことを確認できる。

式18に推定対象領域の体積Vを代入し、再帰期間Tと得られた極値分布が交わる点が推定最大空孔包絡面積の平方根 $\sqrt{\text{area}}_{\max}$ である。

[0061] 次に、推定した最大空孔包絡面積の平方根 $\sqrt{\text{area}}_{\max}$ の値の大小が軌道輪の転動疲労寿命に与える影響について検証するため、転動疲労寿命試験を行った。以下、この試験方法を説明する。

[0062] [軌道輪]

この試験では、まず、原料粉末として2wt%のNi、1wt%のMo、残部を鉄および不可避免的不純物とする部分拡散合金鋼粉（JFEスチール株式会社製 シグマロイ2010）を用い、炭素固溶源として黒鉛粉（TIMC

AL社製TIMREX F-10)を0.2wt%、成形用潤滑剤としてエチレンビスステアリルアミド(ロンザジャパン株式会社製ACRAWAX C)を0.5wt%添加したものを用意した。当該粉末を外径 ϕ 48mm \times 内径 ϕ 34mmおよび外径 ϕ 32mm \times 内径 ϕ 16mmの金型にそれぞれ充填し、一軸加圧成形した後、窒素・水素からなる不活性ガス雰囲気下において1250 $^{\circ}$ Cで150分間焼結し、密度7.5g/cm³のリング状焼結金属素材を得た。前者は外輪用、後者は内輪用の焼結金属素材である。なお、当該密度測定結果は、アルキメデス法によるものである。

[0063] 次いで、当該素形材リングに塑性加工として冷間ローリング加工を適用して軌道面を形成した後、サイジングと呼ばれる寸法矯正工程を経ることで、各試験片間の寸法バラつきを所定域内に揃えた。さらに、当該塑性加工品を880 $^{\circ}$ Cで浸炭処理、840 $^{\circ}$ Cに加熱して焼入れし、180 $^{\circ}$ Cで焼戻しを行った後、研磨による仕上げ工程を経ることで、外径 ϕ 62mm \times 内径 ϕ 52.1mmの外輪と、外径 ϕ 40mm \times 内径 ϕ 30mmの内輪を得た(以下、この内外輪を「実施例1」とする)。当該内外輪は、JIS規格6206型番の軸受内外輪に準拠するものである。

[0064] また、比較例1として、1.5wt%のCr、0.2wt%のMo、0.3wt%の炭素(C)を含有し残部を鉄とする完全合金粉を用い、実施例1と同様の製法で内外輪を作製した(比較例1)。これは、特許文献3に記載の条件に適合する試験片であり、塑性加工前の焼結密度は6.8g/cm³(相対密度約87%)である。

[0065] この他、比較のため、実施例1と同様に成形、焼結した後、塑性加工ではなく旋削加工により軌道輪形状に形成し、実施例1同様に浸炭熱処理、仕上げ加工した内外輪(比較例2)と、溶製材製6206型番の軸受(材質:SUJ2、熱処理:ズブ焼入れ焼戻し、シールなし開放型、C3隙間)の内外輪とを用意した(比較例3)。

[0066] [軸受]

実施例1および比較例1~3の各内外輪に対して、軸受鋼SUJ2からな

る3/8インチの鋼球（JIS等級G20）を8個、およびPA66+GF25wt.%からなる樹脂製冠型保持器を組み込み、JIS規格6206型番の軸受を組み立てた（シールなし開放型、C3隙間）。

[0067] [試験方法]

転動疲労寿命試験の試験条件は、最大接触面圧 P_{max} を3.2GPa、軸受回転数を3000rpmとした。潤滑油としてタービン油VG56を使用し、試験中は、この清浄油を軸受に循環給油させることとした。振動検出装置により運転中の軸受の振動を監視することで、軸受内外輪にはく離等の損傷が発生し、軸受の振動が所定値を超えた時点で試験を中止して、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、軸受を分解して内外輪の損傷状態を確認した。

[0068] [$\sqrt{area_{max}}$ の推定]

この試験では、基準面積 S_0 を 0.059mm^2 （縦 0.21mm ×横 0.279mm ）、検査回数 n を32回、予測体積 V を内輪 250mm^3 、外輪 350mm^3 とした。基準面積は、縦は軌道面の表層から深さ方向で最大せん断応力の90%応力が掛かる深さ（危険体積領域の深さ）の概算値 0.21mm とし、横は縦の1.33倍である 0.279mm とした。当該基準面積での断面観察を50視野以上実施し、既述の手法で画像処理、およびデータ抽出を行い、得られた各 $\sqrt{area_{max,j}}$ の上位32ケを用いて、当該軌道輪の予測体積中に含まれる最大空孔包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ を推定した。ここでの予測体積 V は、軌道面全体から厚さ約 0.21mm の深さに至る領域（図6の斜線部 V を1周回転させた回転体）とし、外輪1では 350mm^3 、内輪3では 250mm^3 とした。この予測体積の数値は、より安全側で評価するため、実際の危険体積（外輪では約 320mm^3 、内輪では約 210mm^3 ）よりも若干大きくしている。

[0069] [考察]

以上の転動疲労寿命試験の結果を図9に示す。なお、この試験結果の判定欄においては、時間に換算した L_{10} 寿命を基に転動疲労寿命を判定した。○

は L_{10} 寿命が100以上のもの、 Δ は L_{10} 寿命が50以上100未満のもの、 \times 印は L_{10} 寿命が50未満のものを表している。

[0070] 図9に示す実施例1と、比較例1、2との対比から、最大空孔包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ の推定値が小さいほど、軌道輪の転動疲労寿命が増大することが明らかになった。また、この推定値が $50\mu m$ 未満であれば、比較例3のS U J 2製の内外輪を使用した軸受には及ばないものの、同軸受の L_{10} 寿命に対して7~8割程度の寿命を示すことが明らかになった。このことから、実施例1は、使用環境や条件によっては溶製材軸受（比較例3）を代替できる可能性があると考えられる。なお、実施例1でも転動疲労寿命に至った時の損傷（フレーキング）の形態はS U J 2をはじめとする溶製材製軸受と同じく、内輪または外輪の内部起点型剥離と考えられる。実施例1における損傷の代表例として、剥離が発生した内輪の試験前後の写真を図7bに、当該剥離部拡大写真を図8bに示す。なお、図7aおよび図8aは何れも試験前のものである。

[0071] 次に、実施例1と比較例1の焼結金属製内外輪の断面を観察した。観察用断面は、内外輪を端面に垂直でかつそれぞれの中心を通る面で切断したものを樹脂埋めし、切断面に鏡面仕上げを施すことで得ている。この断面における空孔数および空孔サイズをデジタルマイクロスコープ（株式会社キーエンス製 V H X - 9 0 0）を用いて観察した。図10は、実施例1および比較例1の外輪の表層および内部（未塑性加工領域）の観察結果の代表例を示している。

[0072] 図10から明らかなように、実施例1では、塑性加工前の段階で $7.5g/cm^3$ （相対密度 約96%）まで高密度化しているため、内部には推定最大包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ で $50\mu m$ を超える粗大空孔は存在していない。塑性加工の及ばない領域がこのような緻密構造である以上、塑性加工を施した表層部（特に危険体積相当深さより浅い領域）にも $50\mu m$ を超える粗大空孔は存在していない。また、表層部では、推定最大包絡面積の平方根が $20\mu m$ を超えるような空孔も観察されなかった。

- [0073] その一方、比較例1では、塑性加工前の密度が 6.8 g/cm^3 (相対密度約87%)であり、十分に高密度化していない。そのため、内部には同じく推定最大包絡面積の平方根で $100 \mu\text{m}$ を越える粗大空孔を含む多数の空孔が観察された。この焼結体に塑性加工を施すことで、表層部の大半の領域は目潰しされて緻密化していたが、一部空孔が潰れきらなかったため、推定最大包絡面積の平方根で $50 \mu\text{m}$ を越える粗大空孔が、一般に危険体積とされる表層数百 μm 以内の浅い領域にも複数残存していることが確認できた。
- [0074] このように本発明では、軌道輪の危険体積を予測体積として、少なくとも予測体積に存在すると推定される最大空孔の包絡面積の平方根 $\sqrt{\text{area}_{\text{max}}}$ が $50 \mu\text{m}$ 未満 (好ましくは $40 \mu\text{m}$ 未満、より好ましくは $30 \mu\text{m}$ 未満) としているので、軌道面周辺に粗大空孔は存在しない。そのため、この粗大空孔を起点として軌道輪に剥離等の損傷が生じるのを防止することができ、溶製材に匹敵する転動疲労寿命を得ることが可能となる。
- [0075] 特に本発明では、Fe-Ni-Mo系の部分拡散合金鋼を使用しているが、この粉末は既に述べたように純鉄粉と同程度に軟らかい。そのため、圧縮成形時に高密度化することができ、このことと塑性加工による緻密化との相乗作用により、軌道面周辺での粗大気孔の発生を回避することができる。また、軌道面2等を塑性加工で成形する際の成形性も良好なものとなる。さらに、この粉末は入手が容易で低コストであるため、軌道輪、延いては転がり軸受の低コスト化を図ることができる。
- [0076] これに対して比較例1の軌道輪では、軌道面を含む表層部に粗大空孔が残存している。これは、比較例1で使用したFe-Cr-Mo系合金粉では、酸化され易いCrを含むために合金成分を予め合金化したプレアロイ粉末を使用するのが一般的であり、そのために粉末が硬質化していることに起因すると考えられる。このように硬い粉末を成形する場合、高圧成形するとクラックやラミネーションを生じるために低圧成形せざるを得ないが、低圧成形では高密度化させることが困難であるため、焼結体に粗大気孔を生じると考えられる。

[0077] なお、特許文献3には、比較例1のFe-Cr-Mo系合金粉の他、SU S420等のステンレス鋼粉やSUJ2等の軸受鋼粉を使用することも記載されているが、これらの鋼粉も多くのCrを含むため、比較例1と同様の問題を生じることになる。

[0078] 実施例1では、最大空孔包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ を推定する際に、予測体積の数値を実際の危険体積よりも若干大きくし、軌道面の軸方向全体を含む領域を予測体積Vとしているが（図6参照）、これは軸受にアキシャル荷重等が作用することも考えて、安全側で評価するためである。接触楕円の軸方向幅（長径）に相当する危険体積を予測体積Vとし、少なくともこの予測体積内で最大空孔包絡面積の平方根を50 μ m未満にすれば、軌道輪の転動疲労寿命を向上させることができる。

[0079] また、以上の説明では、危険体積に基づいて予測体積Vを定めて最大空孔包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ を推定する場合を例示しているが、この他に、図11に示すように、軌道面2に生じる接触楕円Eの軸方向幅Wの範囲で最大せん断応力を生じる深さに至るまでの領域を想定し、少なくともこの領域を予測体積Vとして、最大空孔包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ を推定することもできる。これにより、危険体積よりも深い領域に至るまで粗大空孔が存在しないことを保障することができ、軌道輪の転動疲労寿命のさらなる向上を図ることができる。

符号の説明

- [0080]
- | | |
|---|----------------|
| 1 | 外輪 |
| 2 | 外輪軌道面 |
| 3 | シール取り付け溝（シール部） |
| 4 | 転動体 |
| 5 | 内輪 |
| 6 | 内輪軌道面 |
| 7 | シール溝（シール部） |
| 8 | 保持器 |

9 シール部材

E 接触楕円

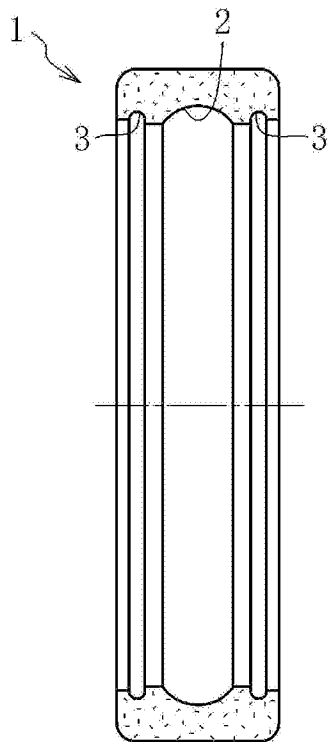
請求の範囲

- [請求項1] 転動体が転動する軌道面を有し、前記軌道面が焼結金属素材に塑性加工を施すことで形成されている軸受用軌道輪であって、
前記焼結金属素材が、部分拡散合金鋼粉を圧縮成形した後、焼結することにより形成され、少なくとも危険体積を予測体積として、該予測体積に存在すると推定される最大空孔の包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ が $50\mu m$ 未満であることを特徴とする軸受用軌道輪。
- [請求項2] 転動体が転動する軌道面を有し、前記軌道面が焼結金属素材に塑性加工を施すことで形成されている軸受用軌道輪であって、
前記焼結金属素材が、部分拡散合金鋼粉を圧縮成形した後、焼結することにより形成され、軌道面に生じる接触楕円の軸方向幅の範囲で最大せん断応力を生じる深さに至るまでの領域を予測体積として、該予測体積に存在すると推定される最大空孔の包絡面積の平方根 $\sqrt{area_{max}}$ が $50\mu m$ 未満であることを特徴とする軸受用軌道輪。
- [請求項3] 前記部分拡散合金鋼粉として、Fe-Ni-Mo系を使用した請求項1または2記載の軸受用軌道輪。
- [請求項4] 前記部分拡散合金鋼粉として、水アトマイズされた鋼粉もしくは純鉄粉に合金成分を拡散接合させたものを使用した請求項1～3何れか1項に記載の軸受用軌道輪。
- [請求項5] 前記部分拡散合金鋼粉がNi:0.5～5wt%、およびMo:0.5～3wt%を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる請求項1～4何れか1項に記載の軸受用軌道輪。
- [請求項6] 少なくとも軌道面を熱処理により硬化させた請求項1～5何れか1項に記載の軸受用軌道輪。
- [請求項7] 前記塑性加工が、冷間ローリング加工、転造加工、バニシング加工、またはショットピーニング加工のうちの少なくとも何れか一つである請求項1～6何れか1項に記載の軸受用軌道輪。
- [請求項8] シール部材と接触もしくは近接するシール部を有し、シール部が前

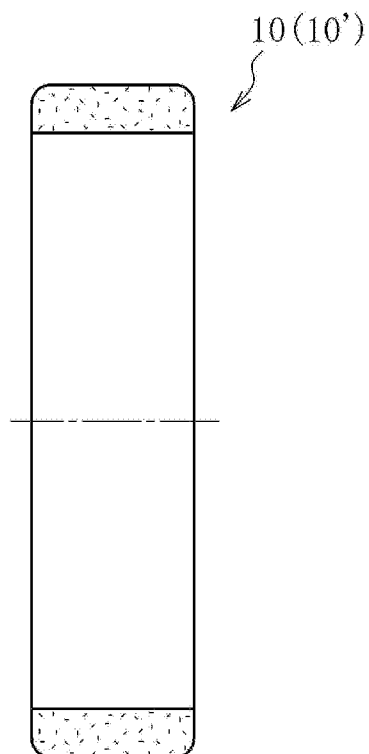
記焼結金属素材に塑性加工を施すことで成形されている請求項1～7
何れか1項に記載の軸受用軌道輪。

[請求項9] 内周に外側軌道面を有する外輪と、外周に内側軌道面を有する内輪
と、外側軌道面と内側軌道面の間に配置された複数の転動体と、転動
体を保持する保持器とを有し、前記外輪および内輪のうち、少なくと
も一方または双方に、請求項1～8の何れか一項に記載の軸受用軌道
輪を用いた転がり軸受。

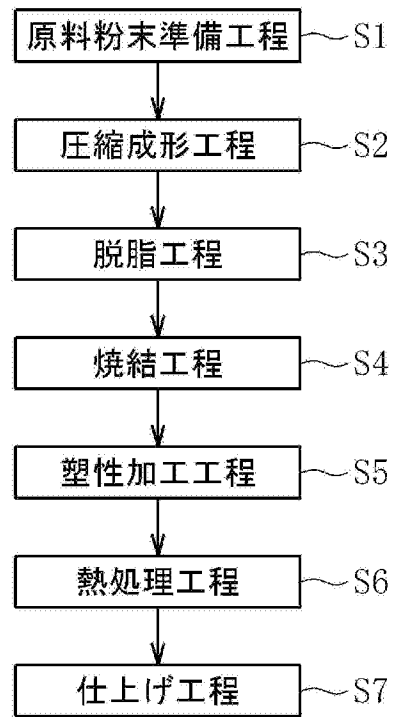
[図1a]



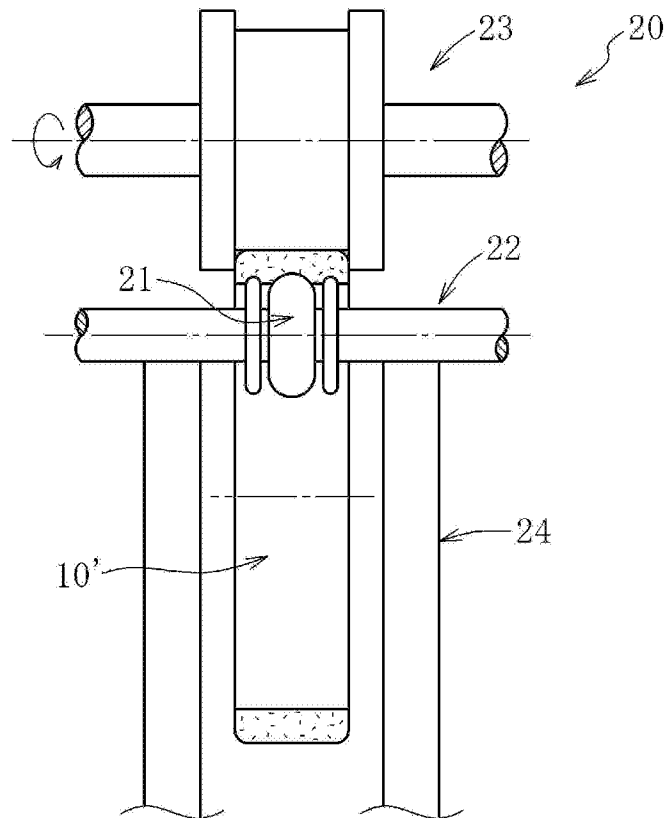
[図1b]



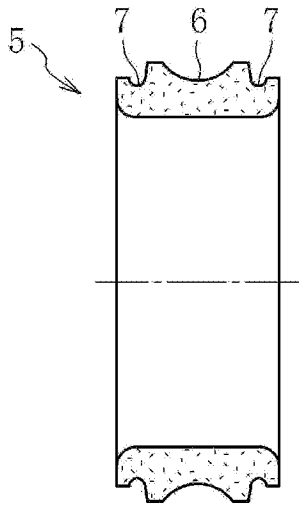
[図2]



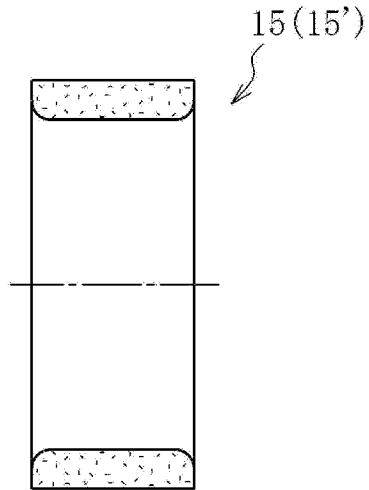
[図3]



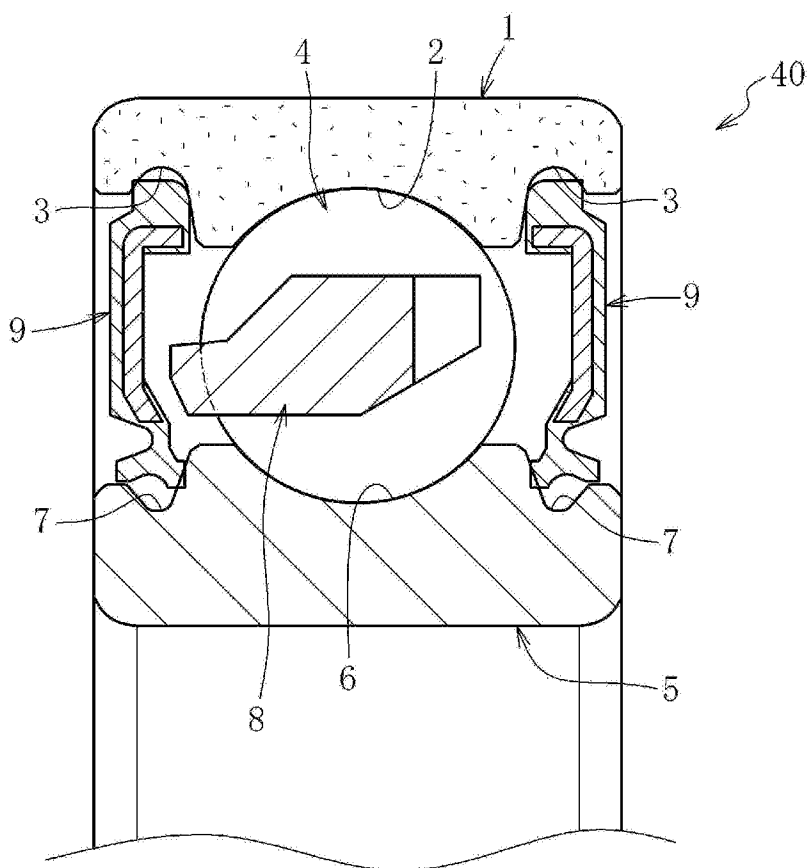
[図4a]



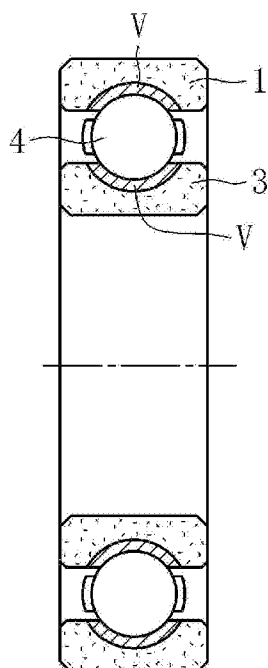
[図4b]



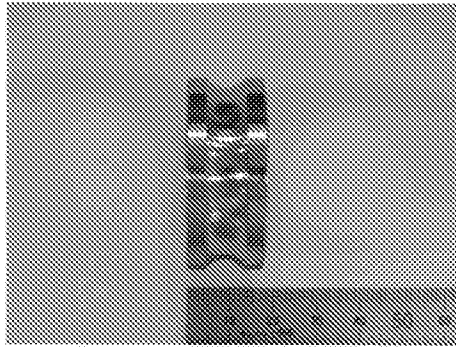
[図5]



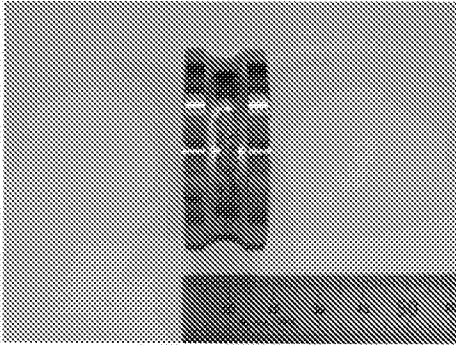
[図6]



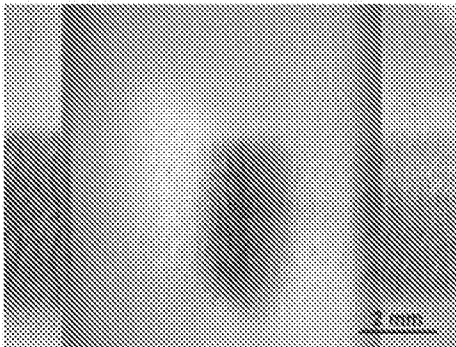
[図7a]



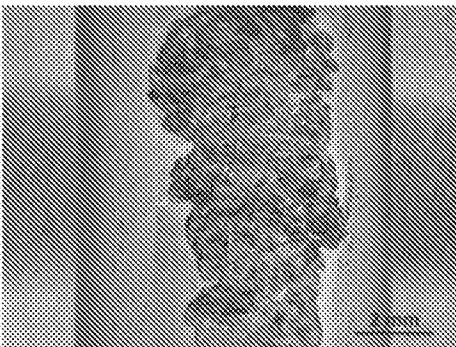
[図7b]



[図8a]



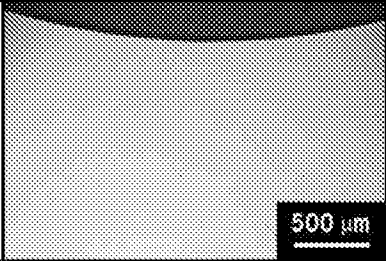
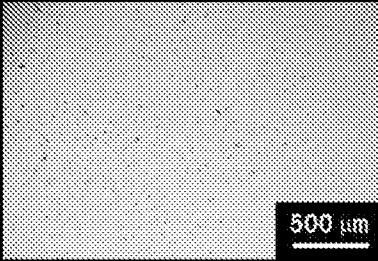
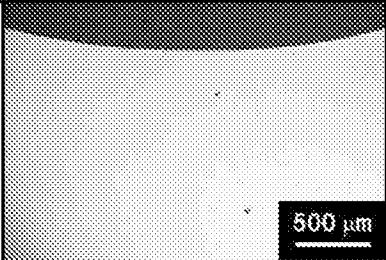
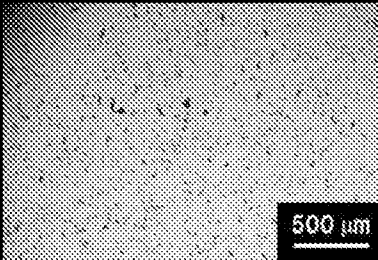
[図8b]



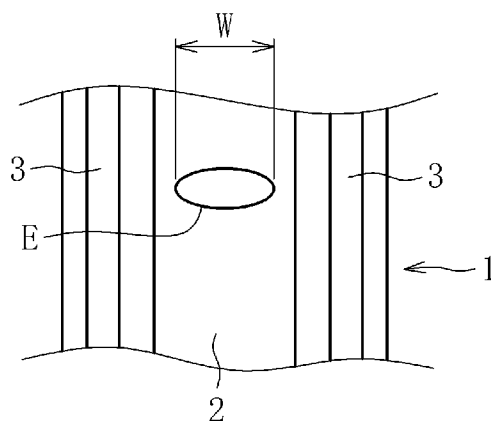
[図9]

	材質	緻密化領域の $\sqrt{area_{max}}$, μm	熱処理	L_{10} 寿命, h	判定
実施例 1	Fe-Ni-Mo-C 焼結材	50 未満	浸炭焼入焼戻	109	○
比較例 1	Fe-Cr-Mo-C 焼結材	50 以上 80 未満	↑	60	△
比較例 2	Fe-Ni-Mo-C 焼結材	80 以上	↑	1 h 以下	×
比較例 3	SUJ2 溶製材	50 未満	ずぶ焼入焼戻	126	○

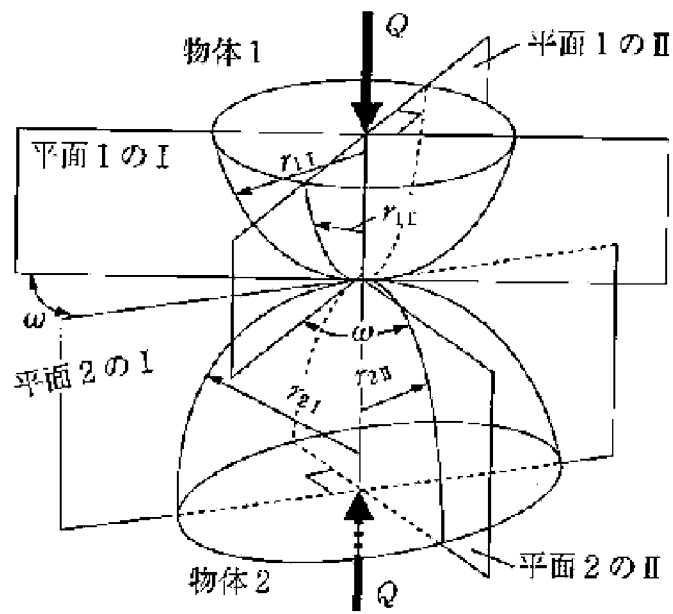
[図10]

	塑性加工前 密度, g/cm^3	表層部	内部
実施例 1	7.5		
比較例 1	6.8		

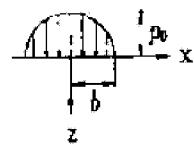
[図11]



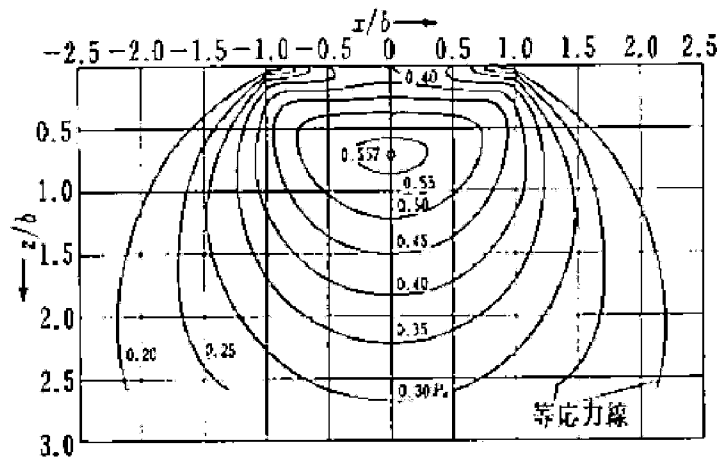
[図12]



[図13]



$$\mu=0$$



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/058368

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>F16C33/64(2006.01)i, B22F1/00(2006.01)i, B22F3/10(2006.01)i, B22F3/24(2006.01)i, B22F5/00(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, C22C38/12(2006.01)i, F16C19/06(2006.01)i, F16C33/62(2006.01)i, F16C33/78(2006.01)i</i> According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC														
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) <i>F16C33/64, B22F1/00, B22F3/10, B22F3/24, B22F5/00, C22C38/00, C22C38/12, F16C19/06, F16C33/62, F16C33/78</i>														
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched <table border="0"> <tr> <td>Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1922-1996</td> <td>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</td> <td>1996-2015</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1971-2015</td> <td>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1994-2015</td> </tr> </table>			Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015	Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015				
Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015											
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015											
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)														
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT														
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
A	JP 2002-294388 A (Kawasaki Steel Corp., Unisia Jecs Corp.), 09 October 2002 (09.10.2002), paragraphs [0035] to [0039], [0048] to [0055], [0062] to [0063] & US 2002/0048526 A1 & EP 1184476 B1 & KR 10-2002-0018169 A & CN 1344814 A & AT 466966 T & CA 2355562 A1	1-9												
A	JP 2006-503982 A (Hoganas AB), 02 February 2006 (02.02.2006), paragraph [0008] & US 2004/0123696 A1 & US 2007/0234850 A1 & WO 2004/037467 A1 & EP 1554070 A1 & CA 2497383 A1 & BR 314361 B1 & KR 10-2005-0067422 A & CN 1705534 A & RU 2005115465 A & TW 200420372 A	1-9												
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.														
<table border="0"> <tr> <td>* Special categories of cited documents:</td> <td>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</td> </tr> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</td> <td>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</td> </tr> <tr> <td>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</td> <td>"&" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family	"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention													
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone													
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art													
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family													
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means														
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed														
Date of the actual completion of the international search 12 June 2015 (12.06.15)		Date of mailing of the international search report 23 June 2015 (23.06.15)												
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.												

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/058368

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-53358 A (Sumitomo Electric Sintered Alloy, Ltd.), 21 March 2013 (21.03.2013), paragraph [0008] (Family: none)	1-9
A	JP 5-263181 A (Mitsubishi Materials Corp.), 12 October 1993 (12.10.1993), paragraphs [0002], [0006], [0010] to [0014] (Family: none)	1-9
A	JP 6-145845 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 27 May 1994 (27.05.1994), claims (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F16C33/64(2006.01)i, B22F1/00(2006.01)i, B22F3/10(2006.01)i, B22F3/24(2006.01)i, B22F5/00(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, C22C38/12(2006.01)i, F16C19/06(2006.01)i, F16C33/62(2006.01)i, F16C33/78(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F16C33/64, B22F1/00, B22F3/10, B22F3/24, B22F5/00, C22C38/00, C22C38/12, F16C19/06, F16C33/62, F16C33/78

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2002-294388 A (川崎製鉄株式会社, 株式会社ユニシアジェックス) 2002.10.09, 段落 [0035] - [0039], [0048] - [0055], [0062] - [0063] & US 2002/0048526 A1 & EP 1184476 B1 & KR 10-2002-0018169 A & CN 1344814 A & AT 466966 T & CA 2355562 A1	1-9

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12.06.2015

国際調査報告の発送日

23.06.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

久島 弘太郎

3 J

9725

電話番号 03-3581-1101 内線 3328

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-503982 A (ホガナス アクチボラゲット) 2006.02.02, 段落 [0008], & US 2004/0123696 A1 & US 2007/0234850 A1 & WO 2004/037467 A1 & EP 1554070 A1 & CA 2497383 A1 & BR 314361 B1 & KR 10-2005-0067422 A & CN 1705534 A & RU 2005115465 A & TW 200420372 A	1-9
A	JP 2013-53358 A (住友電工焼結合金株式会社) 2013.03.21, 段落 [0008] (ファミリーなし)	1-9
A	JP 5-263181 A (三菱マテリアル株式会社) 1993.10.12, 段落 [0002], [0006], [0010] - [0014] (ファミリーなし)	1-9
A	JP 6-145845 A (住友電気工業株式会社) 1994.05.27, [特許請求の範囲] (ファミリーなし)	1-9