

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7073193号  
(P7073193)

(45)発行日 令和4年5月23日(2022.5.23)

(24)登録日 令和4年5月13日(2022.5.13)

(51)国際特許分類 F I  
F 1 6 C 33/64 (2006.01) F 1 6 C 33/64  
F 1 6 C 19/36 (2006.01) F 1 6 C 19/36

請求項の数 10 (全19頁)

(21)出願番号	特願2018-102350(P2018-102350)	(73)特許権者	000102692
(22)出願日	平成30年5月29日(2018.5.29)		NTN株式会社
(65)公開番号	特開2019-95044(P2019-95044A)		大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
(43)公開日	令和1年6月20日(2019.6.20)		
審査請求日	令和3年3月19日(2021.3.19)	(74)代理人	110001195
(31)優先権主張番号	特願2017-226107(P2017-226107)		特許業務法人深見特許事務所
(32)優先日	平成29年11月24日(2017.11.24)	(72)発明者	岡田 尚弘
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内
		(72)発明者	藤田 工
			三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内
		(72)発明者	嘉村 直哉
			三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 転動部品、軸受およびそれらの製造方法

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

他の転動部品と接触する表面を有する転動部品であって、  
前記転動部品には前記表面から延びるファイバーフローが含まれ、  
前記表面は、 $0.1\ \mu\text{m Ra}$ 以下、 $Rsk < 0$ 、圧縮残留応力が $700\ \text{MPa}$ 以上であり、  
前記表面と前記ファイバーフローとのなす角度は $15^\circ$ 以上である、転動部品。

## 【請求項2】

他の転動部品と接触する表面を有する転動部品であって、  
前記転動部品には前記表面から延びるファイバーフローが含まれ、  
前記転動部品の前記表面の側に存在する非金属介在物と、前記転動部品を構成する母材との隙間は、前記転動部品の内部の側に存在する非金属介在物と、前記転動部品を構成する母材との隙間よりも小さく、  
前記表面と前記ファイバーフローとのなす角度は $15^\circ$ 以上である、転動部品。

## 【請求項3】

酸素含有量が $5\ \text{ppm}$ 以上の鋼材により形成される、請求項1または2に記載の転動部品。

## 【請求項4】

外輪と、  
前記外輪の内周面上に配置される転動体と、  
前記転動体の内周側に配置される内輪とを備える軸受であり、  
前記外輪、前記転動体および前記内輪の少なくとも1つは請求項1～3のいずれか1項に

記載の転動部品であり、  
前記転動部品における表面は、前記外輪の軌道面、前記内輪の軌道面および前記転動体の  
転動面のいずれかである、軸受。

【請求項 5】

他の転動部品と接触する表面を有する転動部品の製造方法であって、  
被加工面を有し、ファイバーフローを含む部材を準備する工程と、  
前記被加工面に研磨加工を施す工程と、  
前記研磨加工を施す工程の後に前記被加工面に塑性加工を施す工程とを備え、  
前記表面は、 $0.1 \mu\text{m Ra}$  以下、 $Rsk < 0$ 、圧縮残留応力が  $700 \text{ MPa}$  以上となる  
ように形成され、  
前記表面と、前記表面から延びる前記ファイバーフローとのなす角度は  $15^\circ$  以上である  
、転動部品の製造方法。

10

【請求項 6】

他の転動部品と接触する表面を有する転動部品の製造方法であって、  
被加工面を有し、ファイバーフローを含む部材を準備する工程と、  
前記被加工面に研磨加工を施す工程と、  
前記研磨加工を施す工程の後に前記被加工面に塑性加工を施す工程とを備え、  
前記転動部品の前記表面の側に存在する非金属介在物と、前記転動部品を構成する母材と  
の隙間は、前記転動部品の内部の側に存在する非金属介在物と、前記転動部品を構成する  
母材との隙間よりも小さくなるように形成され、  
前記表面と、前記表面から延びる前記ファイバーフローとのなす角度は  $15^\circ$  以上である  
、転動部品の製造方法。

20

【請求項 7】

前記塑性加工を施す工程においてはパニシング加工がなされる、請求項 5 または 6 に記載  
の転動部品の製造方法。

【請求項 8】

前記パニシング加工においては、前記被加工面に対して垂直な方向に加わる垂直力と、前  
記垂直力に交差する方向に加わる接線力との合力が加わることにより加工がなされる、  
請求項 7 に記載の転動部品の製造方法。

【請求項 9】

前記塑性加工を施す工程においては、ショットピーニング、ウォータージェット、UIT  
からなる群から選択されるいずれかが用いられる、請求項 5 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の  
転動部品の製造方法。

30

【請求項 10】

外輪と、  
前記外輪の内周面上に配置される転動体と、  
前記転動体の内周側に配置される内輪とを備える軸受の製造方法であり、  
前記外輪、前記転動体および前記内輪の少なくとも 1 つは請求項 5 ~ 9 のいずれか 1 項に  
記載の転動部品であり、  
前記転動部品における表面は、前記外輪の軌道面、前記内輪の軌道面および前記転動体の  
転動面のいずれかである、軸受の製造方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は転動部品、軸受およびそれらの製造方法に関し、特に構成部材がファイバーフロ  
ーを含む転動部品、軸受およびそれらの製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

軸受を長寿命化するためには、軸受を構成する転動部品における、剥離の起点となる非金  
属介在物を減らしかつそのサイズを小さくすることが要求される。このため鋼材メーカ各

50

社はその製鋼方法を工夫してきた。しかし転動部品に含まれる非金属介在物を完全に排除することはできない。またそのような特殊な工程を経た鋼材は高コストであり、かつグローバル市場での入手が困難であるという問題がある。

【0003】

そこで、転動部品に不可避免的に存在する非金属介在物に対する対策として、たとえば特開2004-263768号公報(特許文献1)においては、以下の方法がとられている。特開2004-263768号公報では、粒径が30 $\mu$ m以上の非金属介在物を含む低清浄度鋼に対しローラバニシング加工がなされる。これにより非金属介在物が粉碎され小径化されるため、転動疲労寿命に優れた転動部品が得られる。

【0004】

一方、転動部品を構成する素材の耐久性の向上を図る観点から、当該素材に形成されるファイバーフローに着目する場合もある。たとえば特開2013-116689号公報(特許文献2)においては、外輪が熱間鍛造加工後に冷間ローリング加工されることにより、外輪のファイバーフローが切断されずに外郭形状に沿って繋がって形成された車輪用軸受装置が開示されている。これにより、車輪用軸受装置の耐久性が向上するとされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2004-263768号公報  
特開2013-116689号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

そもそも非金属介在物は、転動部品の特に軌道面の表面に介在し、軌道面の表面に露出することが問題となることが多い。これにより当該露出部としての非金属介在物と、転動部品の母材との隙間が形成され、それが開口き裂として働き、軸受の早期破損の原因となるためである。

【0007】

また非金属介在物は、圧延時にファイバーフローに沿って引き延ばされる。このため、ファイバーフローと軌道面との角度が大きければ、非金属介在物が軌道面に露出する可能性が高くなる。そこでファイバーフローと軌道面との角度を極力小さくする対策がなされるが、製品の形状によっては、鍛造後にどうしても上記角度が大きくなる場合がある。特開2013-116689号公報においては、上記の課題に対する対策が十分になされていない。

【0008】

本発明は以上の問題に鑑みなされたものである。その目的は、軌道面の表面に露出した非金属介在物と母材との隙間を埋めることで隙間が開口き裂として働くことを抑制する転動部品、および当該転動部品を含む軸受、ならびにそれらの製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の第1例に係る転動部品は、表面を有する。当該転動部品にはファイバーフローが含まれる。当該表面は、0.1 $\mu$ mRa以下、Rsk<0、圧縮残留応力が700MPa以上である。表面21AとファイバーフローFFとのなす角度は15°以上である。

【0010】

本発明の第2例に係る転動部品は、表面を有する。当該転動部品にはファイバーフローが含まれる。転動部品の表面の側に存在する非金属介在物と、転動部品を構成する母材との隙間は、転動部品の内部の側に存在する非金属介在物と、転動部品を構成する母材との隙間よりも小さい。表面21AとファイバーフローFFとのなす角度は15°以上である。

【0011】

本発明に係る軸受は、外輪と、外輪の内周面上に配置される転動体と、転動体の内周側に

10

20

30

40

50

配置される内輪とを備える。外輪、転動体および内輪の少なくとも1つは上記の転動部品である。上記の転動部品の表面は、外輪の軌道面、内輪の軌道面および転動体の転動面のいずれかである。

【0012】

本発明の第1例に係る転動部品の製造方法は、まず被加工面を有し、ファイバーフローを含む部材が準備される。被加工面に研磨加工が施される。研磨加工を施す工程の後に被加工面に塑性加工が施される。表面は、 $0.1\ \mu\text{m Ra}$ 以下、 $Rsk < 0$ 、圧縮残留応力が $700\ \text{MPa}$ 以上となるように形成される。

【0013】

本発明の第2例に係る転動部品の製造方法は、まず被加工面を有し、ファイバーフローを含む部材が準備される。被加工面に研磨加工が施される。研磨加工を施す工程の後に被加工面に塑性加工が施される。転動部品の表面の側に存在する非金属介在物と、転動部品を構成する母材との隙間は、転動部品の内部の側に存在する非金属介在物と、転動部品を構成する母材との隙間よりも小さくなるように形成される。

10

【0014】

本発明は、外輪と、外輪の内周面上に配置される転動体と、転動体の内周側に配置される内輪とを備える軸受の製造方法である。外輪、転動体および内輪の少なくとも1つは上記の転動部品である。上記の転動部品の表面は、外輪の軌道面、内輪の軌道面および転動体の転動面のいずれかである。

【発明の効果】

20

【0015】

本発明によれば、軌道面の表面に露出した非金属介在物と母材との隙間を埋めることで隙間が開口き裂として働くことを抑制する転動部品を得ることができる。また製造方法においては研磨後の塑性加工（パニング加工）により隙間を埋めることができ、隙間が開口き裂として働くことを抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本実施の形態に係る円錐ころ軸受の構造を示す概略断面図である。

【図2】図1中の点線で囲まれた領域Aの概略拡大断面図である。

【図3】転動部品の母材の表面に露出するように配置された非金属介在物の態様を示す概略断面図（A）と、転動部品の母材の表面から離れた内部における非金属介在物の態様を示す概略断面図（B）とである。

30

【図4】本実施の形態の円錐ころ軸受の製造方法の第1工程を示す概略断面図である。

【図5】本実施の形態の円錐ころ軸受の製造方法の第2工程を示す概略断面図である。

【図6】本実施の形態の円錐ころ軸受の製造方法の第3工程を示す概略断面図である。

【図7】本実施の形態の円錐ころ軸受の製造方法の第4工程を示す概略断面図である。

【図8】本実施の形態の円錐ころ軸受の製造方法の第5工程の第1例を示す概略断面図である。

【図9】本実施の形態の円錐ころ軸受の製造方法の第5工程の第2例を示す概略断面図である。

40

【図10】内輪の内部に非金属介在物が存在する態様を示す概略断面図である。

【図11】図10の点線で囲まれた領域XIの拡大概略断面図である。

【図12】非金属介在物および母材との隙間が露出する内輪軌道面に対し、塑性加工を行なう前（A）および行なった後（B）の態様を示す概略断面図である。

【図13】パニング加工の際に、内輪軌道面などを形成するための被加工面に対し垂直な方向から押圧するようにパニングツールが加圧する態様を示す概略図である。

【図14】パニング加工の際に、内輪軌道面などを形成するための被加工面に対し垂直な方向に対し斜めの方向から押圧するようにパニングツールが加圧する態様を示す概略図である。

【図15】パニング加工前後の表面粗さの一例、およびパニング加工時の残留応力の

50

分布を示す概略図である。

【図 1 6】パニング加工の際に斜め方向から押圧力を加えることにより、開口き裂を抑制する効果が高められることを示すグラフである。

【図 1 7】実施例 1 における転動疲労試験に用いられた転動疲労試験機の構成を示す概略断面図である。

【図 1 8】実施例 1 における転動疲労試験の結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本実施の形態について図面を参照しながら説明する。まず本実施の形態において形成される転がり軸受について、図 1 および図 2 を用いて説明する。

10

【0018】

図 1 は本実施の形態に係る円錐ころ軸受の構造を示す概略断面図である。図 2 は図 1 中の点線で囲まれた領域 A の概略拡大断面図の第 1 例 (A) と第 2 例 (B) とである。図 1 を参照して、本実施の形態において形成される軸受としての円錐ころ軸受 2 は、外輪 2 0 と、内輪 2 1 と、複数のころ 2 2 と、保持器 2 3 とを主に備えている。外輪 2 0 は、環形状からなり、内周面に外輪軌道面 2 0 A を有している。内輪 2 1 は、環形状からなり、外周面に内輪軌道面 2 1 A を有している。内輪 2 1 は、内輪軌道面 2 1 A が外輪軌道面 2 0 A に対向するように外輪 2 0 の内周側に配置されている。

【0019】

転動体としてのころ 2 2 は、外輪 2 0 の内周面上に配置されている。ころ 2 2 はころ転動面 2 2 A を有し、当該ころ転動面 2 2 A において内輪軌道面 2 1 A および外輪軌道面 2 0 A に接触し、かつ保持器 2 3 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 2 2 は、外輪 2 0 および内輪 2 1 の円環状の軌道上に転動自在に保持されている。逆に言えば、上記の内輪 2 1 は、ころ 2 2 の内周側に配置されている。また、円錐ころ軸受 2 は、外輪軌道面 2 0 A を含む円錐、内輪軌道面 2 1 A を含む円錐、およびころ 2 2 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 点で交わるように構成されている。このような構成により、円錐ころ軸受 2 の外輪 2 0 および内輪 2 1 は、互いに相対的に回転可能となっている。

20

【0020】

以上のように、円錐ころ軸受 2 は、転動部品としての外輪 2 0、内輪 2 1 およびころ 2 2 を含んでいる。言い換えれば、外輪 2 0、内輪 2 1 およびころ 2 2 の少なくとも 1 つは上記の転動部品である。図 2 (A) を参照して、たとえば内輪 2 1 の内輪軌道面 2 1 A ところ 2 2 のころ転動面 2 2 A とが互いに接触する。この内輪軌道面 2 1 A およびころ転動面 2 2 A のようにそれぞれの転動部品は、互いに他の転動部品と接触する表面を有している。図 2 には示されないが、外輪 2 0 の外輪軌道面 2 0 A ところ 2 2 のころ転動面 2 2 A と互いに接触する。つまり転動部品である外輪 2 0 も、他の転動部品であるころ 2 2 と接触する表面を有している。

30

【0021】

図 2 (A) に示すように、転動部品であるたとえば内輪 2 1 は、その組織内に、ファイバーフロー F F を含んでいる。内輪 2 1 の表面である内輪軌道面 2 1 A と、内輪 2 1 に含まれるファイバーフロー F F とのなす角度  $\theta$  は  $15^\circ$  以上である。

40

【0022】

図 2 (B) を参照して、ファイバーフロー F F はころ 2 2 の側に含まれていてもよい。この場合においても、ころ 2 2 の表面であるころ転動面 2 2 A と、ころ 2 2 に含まれるファイバーフロー F F とのなす角度  $\theta$  は  $15^\circ$  以上である。

【0023】

転動部品の表面は、外輪 2 0 の軌道面としての外輪軌道面 2 0 A、内輪 2 1 の軌道面としての内輪軌道面 2 1 A、およびころ 2 2 の転動面としてのころ転動面 2 2 A のいずれかである。すなわち内輪軌道面 2 1 A、外輪軌道面 2 0 A およびころ転動面 2 2 A の表面は、算術平均粗さが  $0.1 \mu\text{m Ra}$  以下、 $Rsk < 0$  である。また当該表面の圧縮残留応力は

50

700MPa以上である。

【0024】

図3は転動部品の母材と、その母材に存在する非金属介在物との隙間とを示す概略断面図である。特に図3(A)は母材の表面に露出するように配置された非金属介在物の態様を示し、図3(B)は母材の表面から離れた内部における非金属介在物の態様を示している。図3(A)、(B)を参照して、内輪21などの転動部品においては、内輪軌道面21Aなどの表面の側(図3(A)の上側)に存在する非金属介在物41と、内輪21を構成する母材との隙間42は、内輪21の内輪軌道面21Aから離れた内部の側に存在する非金属介在物41と、内輪21を構成する母材との隙間42よりも小さい。このことは転動部品である外輪20、ころ22についても同様である。図3(A)に示すように、内輪軌道面21Aなどの表面の側における非金属介在物41と母材との隙間はまったく存在しなくてもよい。

10

【0025】

外輪20、内輪21、ころ22を構成する材料は鋼であってもよい。当該鋼は、言うまでもなく鉄(Fe)を主成分とし、上記の元素の他に不可避的不純物を含んでいてもよい。不可避的不純物としては、リン(P)、硫黄(S)、窒素(N)、酸素(O)、アルミ(Al)などがある。これらの不可避的不純物元素の量は、それぞれ0.1質量%以下である。その結果、外輪20、内輪21およびころ22は、酸素含有量がたとえば5ppm以上の鋼材により形成される場合がある。

【0026】

当該鋼は、軸受用材料の一例であるたとえばJIS規格S53Cである。S53Cは、炭素を0.5質量%以上0.56質量%以下含み、珪素を0.15質量%以上0.35質量%以下含み、マンガンを0.6質量%以上0.9質量%以下含む。またS53Cは、リンを0.03質量%以下、硫黄を0.035質量%以下、クロムを0.2質量%以下、ニッケルを0.02質量%以下含む。

20

【0027】

次に、以上の構成を有する転動部品、およびそれを含む円錐ころ軸受2の製造方法について、図4~図9を用いて説明する。すなわち以下に述べるのは、外輪20と、外輪20の内周面上に配置されているころ22と、ころ22の内周側に配置されている内輪21とを備える円錐ころ軸受2の製造方法である。なお以下の図4~図9は一例として内輪21の製造工程を示している。

30

【0028】

図4を参照して、まず転動部品である外輪20、内輪21、ころ22のいずれかを形成するための鋼材101が準備される。当該鋼材101の材質は上記のとおりである。鋼材101はたとえば図の左右方向に延びるファイバーフローFを含んでいる。切削工具102により、転動部品形成領域103が、鋼材101から切り取られる。図5を参照して、内輪21を形成するために中央部に空洞104を有する部材が形成される。

【0029】

図6を参照して、内輪21の外周面に対して一般公知の研削などの加工、および焼入れなどの熱処理がなされる。これにより、図に示すようにファイバーフローFを含み、そのファイバーフローFの延びる方向に対して傾斜した外周面すなわち被加工面21Bを有する部材が形成される。被加工面21Bは、ファイバーフローFとのなす角度が15°以上となるように形成される。

40

【0030】

図7を参照して、内輪21の被加工面21Bに対して研磨加工が施される。ここではたとえば内輪研削盤による研磨加工がなされることが好ましい。これにより、内輪21の被加工面21Bの算術平均粗さが0.1μmRa以下となるように、研磨加工がなされる。

【0031】

図7の研磨加工を施す工程の後に、被加工面21Bに塑性加工が施される。これにより被加工面21Bは内輪軌道面21Aとなる。

50

## 【 0 0 3 2 】

図 8 は上記塑性加工の第 1 例を示している。図 8 を参照して、塑性加工を施す工程においては、たとえばバニシング加工がなされることが好ましい。バニシング加工においては、たとえばセラミック製の硬球、またはダイヤモンド製の突起形状部などの押し付け部 C C が工具とされる。図 8 では一例として球形の押し付け部 C C が図示される。押し付け部 C C を図中の矢印 R 1 の方向に回転させ、内輪 2 1 を空洞 1 0 4 を貫通する仮想の軸 L を中心として矢印 R 2 の周方向に回転させながら、押し付け部 C C が被加工面 2 1 B 上を矢印 F に示す力で押圧する。この押圧は、押し付け部 C C が取り付けられたバニシングツール 2 5 が、押し付け部 C C に対して矢印 F の力を加えるようになされる。またバニシングツール 2 5 は、押し付け部 C C が矢印 M の方向に移動するように、被加工面 2 1 B 上を送らせる。これにより、被加工面 2 1 B 上に存在する微小な凹凸形状などが平坦化される。

10

## 【 0 0 3 3 】

図 9 は上記塑性加工の第 2 例を示している。図 9 を参照して、塑性加工を施す工程においては、たとえば冷間ローリング加工がなされてもよい。冷間ローリング加工においては、成形ロール 3 1 とマンドレル 3 2 とが準備される。成形ロール 3 1 およびマンドレル 3 2 は、いずれもたとえば軸方向（図 9 の左右方向）に交差する断面が円形状でありその全体が棒状である。ただし図 9 に示すように成形ロール 3 1 は、その外周面の一部が、円錐ころ軸受 2 の内輪 2 1 用の傾斜した内輪軌道面 2 1 B となるべき被加工面 2 1 B 上に押し当てられる。このため成形ロール 3 1 の外周面の一部は、部分的にその軸方向に関して傾斜した円錐状の形状を有していてもよい。

20

## 【 0 0 3 4 】

成形ロール 3 1 は内輪 2 1 の外側から矢印 F の力で被加工面 2 1 B 上に押し当てられ、マンドレル 3 2 は内輪 2 1 の内側から空洞 1 0 4 の内壁面上に押し当てられる。すなわち内輪 2 1 の鋼材部分は、成形ロール 3 1 とマンドレル 3 2 とに挟まれるように配置される。この状態で内輪 2 1 を空洞 1 0 4 を貫通する仮想の軸 L 1 を中心として矢印 R 3 の周方向に回転させる。このとき同時に、成形ロール 3 1 をその軸方向に関する断面の中央を貫通する仮想の軸 L 2 を中心として矢印 R 4 の方向に回転させ、マンドレル 3 2 をその軸方向に関する断面の中央を貫通する仮想の軸 L 3 を中心として矢印 R 5 の方向に回転させる。ここで、内輪 2 1 の回転方向 R 3 とマンドレル 3 2 の回転方向 R 5 とは等しいが、成形ロール 3 1 の回転方向 R 4 は上記回転方向 R 3 , R 5 とは逆方向であることが好ましい。また成形ロール 3 1 は回転しながら、内輪 2 1 側へ向かう矢印 M で示す方向に移動する。しかしマンドレル 3 2 は回転するものの、成形ロール 3 1 のような移動はなされない。以上の回転および移動により、被加工面 2 1 B 上に存在する微小な凹凸形状などが平坦化され、内輪軌道面 2 1 A が形成される。

30

## 【 0 0 3 5 】

以上により、塑性加工された内輪軌道面 2 1 A を有する内輪 2 1 が形成される。塑性加工後の内輪軌道面 2 1 A の表面は、 $R_a = 0.1 \mu m$ 、 $R_s k < 0$ 、圧縮残留応力が 700 MPa 以上である。また塑性加工後の内輪軌道面 2 1 A の表面の側に存在する非金属介在物 4 1（図 3（A）参照）と、内輪 2 1 を構成する母材との隙間 4 2 は、内輪 2 1 の内輪軌道面 2 1 A から離れた内部の側に存在する非金属介在物 4 1 と、内輪 2 1 を構成する母材との隙間 4 2 よりも小さくなるように形成される。内輪軌道面 2 1 A の表面は、ファイバーフロー F F とのなす角度が  $15^\circ$  以上である。

40

## 【 0 0 3 6 】

以上においては一例として内輪 2 1 の製造工程について説明したが、外輪 2 0 も基本的に内輪 2 1 と同様の製造工程により形成される。またころ 2 2 については、形成される形状が外輪 2 0 および内輪 2 1 と大きく異なる。しかしころ 2 2 についても、鋼材 1 0 1 から転動部品形成領域 1 0 3 が切り取られ、被加工面 2 1 B に研磨加工およびその後の塑性加工が施される点については他の転動部品と同様である。

## 【 0 0 3 7 】

その後、以上の工程により形成された各転動部品が組み立てられることにより、たとえば

50

図 1 の断面図に示すような構成を有する円錐ころ軸受 2 が形成される。

【 0 0 3 8 】

次に、本実施の形態の背景を説明したうえで本実施の形態の作用効果、およびその他の好ましい構成等について説明する。

【 0 0 3 9 】

図 1 0 は転動部品、たとえば内輪 2 1 の内部に非金属介在物が存在する態様を示す概略断面図である。図 1 1 は図 1 0 の点線で囲まれた領域 X I の拡大概略断面図である。図 1 0 および図 1 1 を参照して、内輪 2 1 などの転動部品において、以下の 2 条件を満たす場合、転動部品に含まれる非金属介在物 4 1 が内輪軌道面 2 1 A などに露出する可能性が高くなる。1 つは転動部品を構成する母材である鋼材の清浄度が低いことである。他の 1 つは内輪軌道面 2 1 A などとファイバーフロー F F とのなす角度が大きいことである。内輪軌道面 2 1 A などに露出する非金属介在物 4 1 は、母材との隙間 4 2 を起点とする開口き裂を発生させ、当該転動部品を含む軸受を早期破損させる原因となる。隙間 4 2 も内輪軌道面 2 1 A に露出するため、軸受の使用時にこの隙間 4 2 内に潤滑油が進入する。その状態でころ 2 2 などがその隙間 4 2 の上を転動すれば、油圧により隙間 4 2 が広がる。このことが隙間 4 2 を起点とするき裂を伸展させる原因となる。非金属介在物 4 1 が内輪軌道面 2 1 A などに露出しないようにするためには高清浄度鋼を使用することが理想であるが、これはコストが高く調達性に劣る。また内輪軌道面 2 1 A などとファイバーフロー F F とのなす角度を極力小さくすることが理想であるが、製品の形状によってはどうしても当該角度が大きくなる場合もある。

【 0 0 4 0 】

そこで本実施の形態においては、図 1 2 ( A ) , ( B ) に示すように、そのような被加工面に対し、研磨加工を行なった上でその後にパニシング加工または冷間ローリング加工等の塑性加工がなされる。なお図 1 2 ( A ) , ( B ) は、非金属介在物 4 1 および母材との隙間 4 2 が露出する内輪軌道面 2 1 A に対し、塑性加工を行なう前の態様 ( A ) および塑性加工を行なった後の態様 ( B ) を示している。その結果、内輪軌道面 2 1 A などの表面は、 $0.1 \mu\text{m Ra}$  以下、 $Rsk < 0$ 、圧縮残留応力が  $700 \text{ MPa}$  以上となっている。これにより、軌道面の表面に露出した非金属介在物とその周辺の母材との隙間が狭くなりまたは消滅するように埋められ塞がれる。

【 0 0 4 1 】

すなわち特に、図 3 および図 1 2 に示すように、塑性加工により、内輪軌道面 2 1 A などの表面側の非金属介在物 4 1 と母材との隙間 4 2 は、転動部品の内部側の非金属介在物 4 1 と母材との隙間 4 2 よりも小さくなる。したがって、き裂による転動部品の早期破損の原因が小さくなる（または消滅する）。これにより、内輪軌道面 2 1 A における非金属介在物 4 1 と母材との隙間 4 2 を起点とするき裂の伸展が抑制でき、軸受の長寿命化を図ることができる。

【 0 0 4 2 】

一般的に良好な運転条件にて加工すれば、完成品における内輪軌道面 2 1 A などの表面の各パラメータの数値範囲が  $0.1 \mu\text{m Ra}$  以下、 $Rsk < 0$  であれば良好な潤滑状態とすることができる。また圧縮残留応力を  $700 \text{ MPa}$  以上とすることでき裂の伸展を抑制することができる。

【 0 0 4 3 】

なお上記の塑性加工を施す工程においては、パニシング加工の代わりに、ショットピーニング、ウォータージェット、UIT ( Ultrasonic Impact Treatment : 超音波衝撃処理 ) からなる群から選択されるいずれかが用いられてもよい。この場合においても、パニシング加工がなされた場合と同様の作用効果を奏する。

【 0 0 4 4 】

また、開口き裂に起因する剥離を抑制する観点からは、上記のようにファイバーフロー F F と軌道面または転動面とのなす角度は  $15^\circ$  以下であることが好ましいとされている。また清浄な鋼材を用いるという観点からは、転動部品の酸素含有量は  $5 \text{ ppm}$  以下である

10

20

30

40

50

ことが好ましいと考えられる。しかし本実施の形態においては、上記角度が $15^\circ$ 以上であっても、上記の塑性加工により、開口き裂に起因する剥離の発生を抑制することができ、軸受の長寿命化を図ることができる。また本実施の形態においては、転動部品としての外輪20、内輪21およびころ22の酸素含有量が5ppm以上であっても、上記の塑性加工により、開口き裂に起因する剥離の発生を抑制することができ、軸受の長寿命化を図ることができる。

#### 【0045】

以上のようにバニシング加工による塑性加工により非金属介在物と母材との隙間を埋める効果を高めるためには、以下のようにすることがより好ましい。図13は、矢印R2の方向に回転された内輪21をバニシング加工する際に、内輪軌道面21Aを形成するための被加工面21Bなどに対し垂直な方向から押圧するようにバニシングツール25が加圧する様子を示している。図14は、矢印R2の方向に回転された内輪21をバニシング加工する際に、内輪軌道面21Aを形成するための被加工面21Bなどに対し垂直な方向に対し斜めの方向から押圧するようにバニシングツール25が加圧する様子を示している。図13を参照して、たとえばバニシング加工の際には、図8と同様に、バニシングツール25が被加工面21Bに垂直な方向から垂直力F1でこれを押圧する場合もある。ただし図14を参照して、本実施の形態においては、バニシング加工の際に、バニシングツール25が被加工面21Bに垂直な方向に対して斜めの方向からこれを押圧することが好ましい。すなわちこの場合、バニシングツール25に取り付けられた、ダイヤモンド製の突起形状部としての工具である押し付け部CCが、被加工面21Bに対して垂直な方向に対して傾斜角 $\theta$ を有する方向から、押し付け力F3で被加工面21Bを押圧しながら塑性加工し内輪軌道面21Aを形成する。被加工面21Bを押圧する押し付け力F3は、被加工面21Bに垂直な方向に加わる垂直力F1と、垂直力F1に交差する方向すなわち図14の左右方向に沿って加わる接線力F2とに分解可能である。よって異なる観点から言えば、図14に示すように、バニシング加工においては、被加工面21Bに対して垂直な方向に加わる垂直力F1と、垂直力F1に交差する方向に加わる接線力F2との合力（押し付け力F3）が加わることにより加工がなされることが好ましい。

#### 【0046】

図15は、バニシング加工時における内輪21の深さ方向の残留応力の分布を示す概略図である。図15において、押し付け部CCの下側の曲線は、被加工面の表面からの深さ（縦座標）と圧縮残留応力（中央より右側の座標）および引張残留応力（中央より左側の座標）との関係を示している。図15を参照して、バニシング加工の工具としての押し付け部CCが、内輪軌道面21Aなどを形成するための被加工面21Bに塑性加工を施す。塑性加工前の被加工面21Bは、最大高さ粗さRzが $12.5\mu\text{m}$ であるとし、塑性加工後の内輪軌道面21Aは、最大高さ粗さRzが $0.8\mu\text{m}$ であるとする。図15のように被加工面21Bの塑性加工による変形により、母材と非金属介在物との隙間が埋められる。この隙間を埋める効果を高めるためには、図15中に示す塑性加工による母材への圧縮残留応力が最大となる位置Pが、より表面側（図15の上側）に位置するように制御することが好ましい。このような制御は、上記角度 $\theta$ を設けることにより実現可能となる。

#### 【0047】

言い換えれば、バニシング加工時に被加工面21Bに対して加圧方向を傾け、垂直力F1と接線力F2との双方の合力が加わるようにする。これにより、塑性変形量および圧縮残留応力量が最大となる位置を、被加工面からより浅い位置である表面に近い位置にシフトさせることができる。このことが、非金属介在物と母材との隙間を埋め、母材表面における介在物と母材との密着性を高めることにつながる。したがって隙間を起点とするき裂の伸展を抑制する効果が高められる。

#### 【0048】

図16のグラフの横軸は $x/P_{\text{max}}$ を、縦軸は $z/b$ を示している。ここで $x$ はバニシング加工時の周方向の応力を示し、 $P_{\text{max}}$ はバニシング加工時の内輪軌道面21Aなどの最大面圧を示す。また $z$ はバニシング加工がされる内輪軌道面21Aなどの深さ方向の

10

20

30

40

50

位置座標を示し、 $b$  は内輪軌道面 2 1 A などの加工対象物とパニシングツール 2 5 などとの接触部分の楕円形の短軸半径を示す。すなわち図 1 6 のグラフはパニシング加工時の、内輪軌道面 2 1 A などの表面からの深さと、接線力  $F_2$  の方向の応力分布との関係を示している。

【 0 0 4 9 】

図 1 6 を参照して、パニシング加工時に加工対象物に接線力  $F_2$  を加えることにより応力分布が変化する。このためパニシング加工時に加工対象物に接線力  $F_2$  を加える場合（接線力あり）の方が、接線力  $F_2$  を加えず垂直力  $F_1$  のみを加える場合（接線力なし）に比べて  $x / P_{max}$  が被加工面に近い部分でピークを有する分布となる。またパニシング加工時に加工対象物に接線力  $F_2$  を加える場合（接線力あり）の方が、残留応力のピーク位置も、接線力  $F_2$  を加えず垂直力  $F_1$  のみを加える場合（接線力なし）に比べて表面近くとなる。このためパニシング加工時に加工対象物に接線力  $F_2$  を加えることにより、内輪軌道面 2 1 A の介在物と母材との隙間を効率的に埋めることができる。

10

【 実施例 1 】

【 0 0 5 0 】

パニシング加工の効果を確認するため、平板状の外輪または内輪としての試験片に対する転動疲労試験を実施した。図 1 7 は実施例 1 における転動疲労試験に用いられた転動疲労試験機の構成を示す概略図である。図 1 7 を参照して、当該転動疲労試験機 5 0 は、2 つの試験片 5 1、すなわち試験片 5 1 A および試験片 5 1 B の転動疲労寿命を測定する装置である。試験片 5 1 A、5 1 B は軸受の外輪または内輪と同様の形状を有する円環状の部材である。試験片 5 1 A、5 1 B のそれぞれのリング状の表面は、鋼球 5 2 を介して、回転台 5 3 と対向している。鋼球 5 2 は、試験片 5 1 A および回転台 5 3 の互いに対向する表面のそれぞれに接触している。

20

【 0 0 5 1 】

図示されないが、回転台 5 3 は、両面に軌道溝を有する円環形状を有し、鋼球 5 2 は当該円環状の平面形状と重なる位置に、互いに間隔をあけて一定の角度位置（たとえば  $24^\circ$ ）毎に複数配置されている。鋼球 5 2 は保持器 5 4 により互いの相対的な位置が決定されている。これにより複数の鋼球 5 2 は 1 つの保持器 5 4 と一体となるようにまとまった構成を有している。鋼球 5 2 と保持器 5 4 とからなる部材は、回転台 5 3 の上側および下側の双方に配置されている。回転台 5 3 の上側の鋼球 5 2 の上には試験片 5 1 A が、回転台 5 3 の下側の鋼球 5 2 の下には試験片 5 1 B が、それぞれ配置されている。

30

【 0 0 5 2 】

回転台 5 3 の円環状の平面視での内側には、回転軸 5 5 が取り付けられている。回転軸 5 5 が図中矢印 R で示す方向に回転する。これにより回転軸 5 5 に取り付けられた回転台 5 3 が、回転軸 5 5 周りに回転する。回転台 5 3 の回転力は鋼球 5 2 にも伝わる。また試験片 5 1 A、5 1 B は、図中矢印 F で示す上方の負荷台 5 6 からの負荷を受ける。

【 0 0 5 3 】

なお上記転動疲労試験機 5 0 の各部材のサイズおよび転動疲労試験の条件は以下の表 1 に示すとおりである。

【 0 0 5 4 】

40

【表 1】

試験片形状	φ62×t6 平板
相手材	3/8 鋼球 15 個
最大接触面圧	Pmax=4.2GPa
負荷速度	11250cpm(1500rpm)
潤滑	無添加タービン VG46 250ml/min
試験温度	40°C
試験個数	30

10

## 【0055】

表1の条件のもとに、あらかじめバニシング加工がなされた試験片51（バニシング有）と、バニシング加工がなされていない試験片51（バニシング無）とのサンプルを用いて、その表面がはく離するまでの時間を測定し、または破損しなかったために打切るまでの時間を記録する試験を行なった。その結果を以下の表2、および図18のグラフに示している。なお図18は実施例1における試験片51が破損するまでの時間を横軸に示し、各時間経過後における累積破損確率を縦軸に示している。図18は転動疲労試験による各試験片の転動疲労寿命をワイブルプロットしたものである。

## 【0056】

20

30

40

50

【表 2】

サンプルNo.	バニシング無		バニシング有	
	運転時間(h)	試験後状況	運転時間(h)	試験後状況
1	59.3	打切り	382.3	打切り
2	59.3	はく離	382.3	はく離
3	57.5	はく離	191.8	はく離
4	57.5	打切り	191.8	打切り
5	71.1	打切り	450.0	打切り
6	71.1	はく離	450.0	打切り
7	136.3	打切り	450.0	打切り
8	136.3	打切り	450.0	打切り
9	47.2	打切り	450.0	打切り
10	47.2	はく離	450.0	打切り
11	85.7	打切り	197.8	打切り
12	85.7	はく離	197.8	はく離
13	162.5	打切り	450.0	打切り
14	162.5	打切り	450.0	打切り
15	89.2	打切り	308.0	打切り
16	89.2	打切り	308.0	はく離
17	79.1	はく離	200.1	打切り
18	79.1	打切り	200.1	はく離
19	50.5	はく離	115.5	打切り
20	50.5	打切り	115.5	はく離
21	136.9	打切り	168.4	打切り
22	136.9	打切り	168.4	はく離
23	69.9	はく離	28.9	打切り
24	69.9	打切り	28.9	はく離
25	60.0	はく離	193.4	はく離
26	60.0	打切り	193.4	打切り
27	57.3	はく離	450.0	打切り
28	57.3	打切り	450.0	打切り
29	53.7	打切り	357.6	打切り
30	53.7	はく離	357.6	はく離

## 【0057】

表2および図18を参照すれば、試験片51にあらかじめバニシング加工を施すことにより、バニシング加工を施さない場合に比べて、試験片51を有意に長寿命化することができる。具体的には、試験片51にあらかじめバニシング加工することにより、バニシング加工しない場合に比べて、L10が2.2倍になり、L50が6.85倍になる。なおL10とは累積破壊確率が10%となるまでの時間を示す。またL50とは累積破壊確率が50%となるまでの時間を示す。

## 【0058】

以上に述べた実施の形態(に含まれる各例)に記載した特徴を、技術的に矛盾のない範囲で適宜組み合わせるように適用してもよい。

## 【0059】

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

10

20

30

40

50

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。

【符号の説明】

【0060】

2 円錐ころ軸受、20 外輪、20A 外輪軌道面、21 内輪、21A 内輪軌道面、21B 被加工面、22 ころ、22A ころ転動面、23 保持器、25 バニシングツール、31 成形ロール、32 固定ロール、41 非金属介在物、42 隙間、50 転動疲労試験機、51, 51A, 51B 試験片、52 鋼球、53 回転台、54 保持器、55 回転軸、56 負荷台、101 鋼材、102 切削工具、103 転動部品形成領域、104 空洞、FF ファイバーフロー。

10

20

30

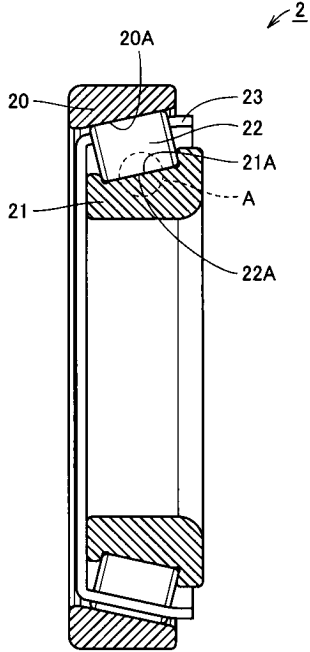
40

50

【 図面 】

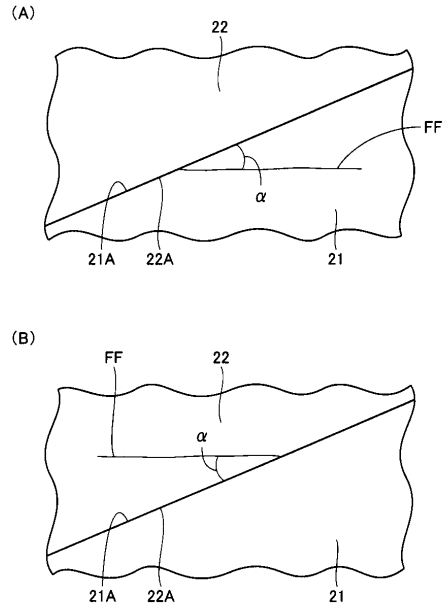
【 図 1 】

図1



【 図 2 】

図2

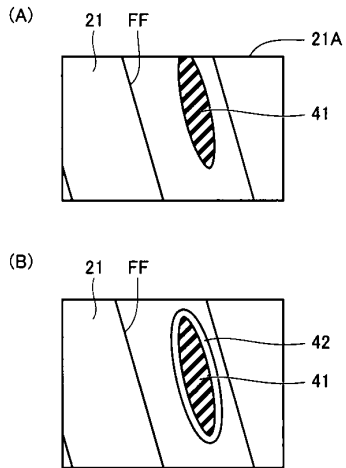


10

20

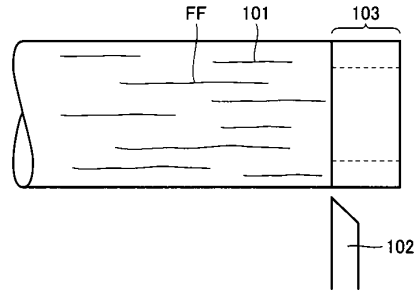
【 図 3 】

図3



【 図 4 】

図4

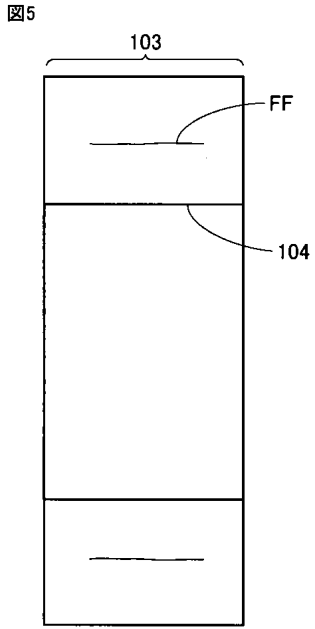


30

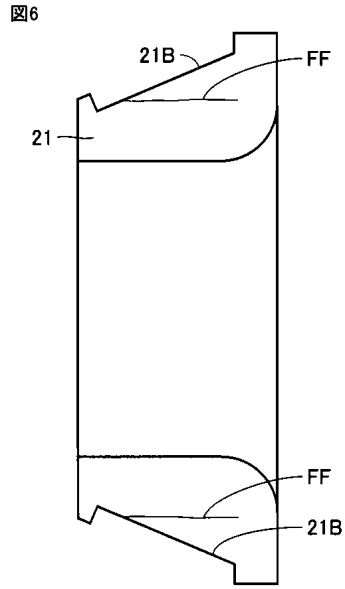
40

50

【 図 5 】

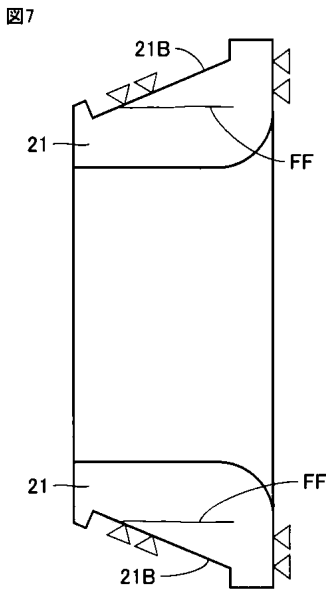


【 図 6 】



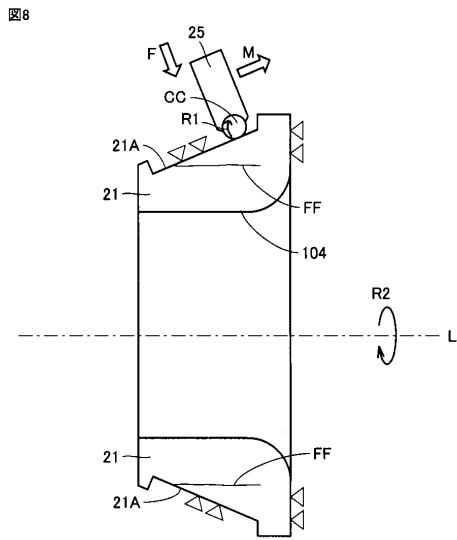
10

【 図 7 】



20

【 図 8 】



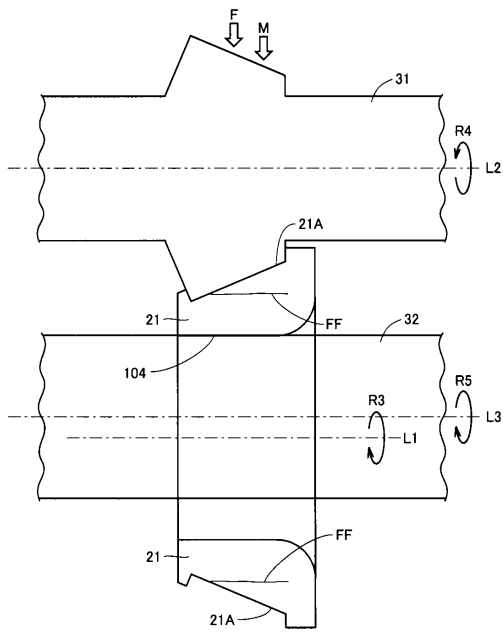
30

40

50

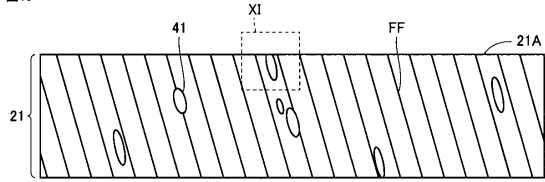
【 9 】

图9



【 1 0 】

图10

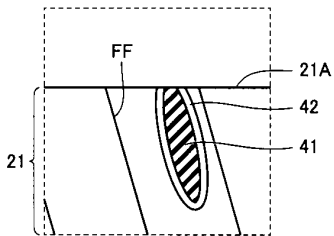


10

20

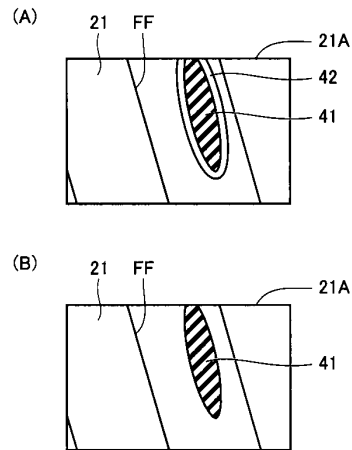
【 1 1 】

图11



【 1 2 】

图12



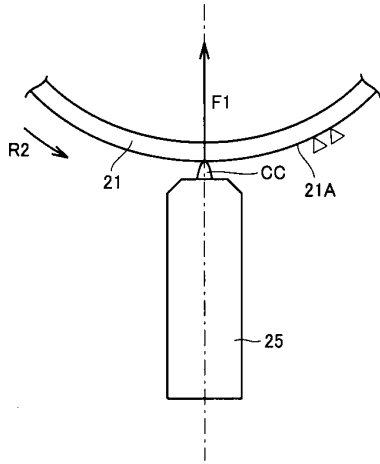
30

40

50

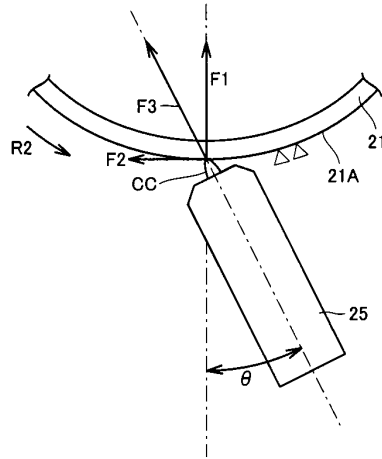
【図13】

図13



【図14】

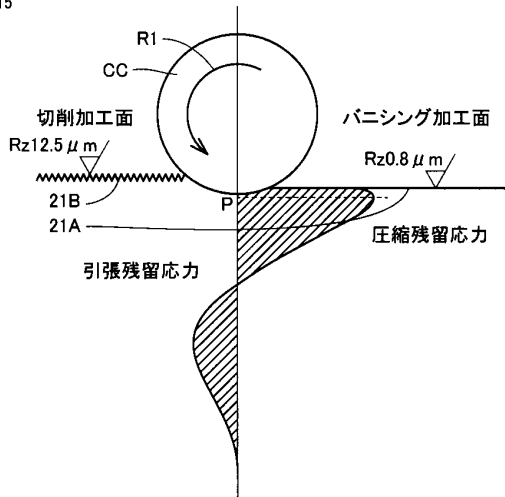
図14



10

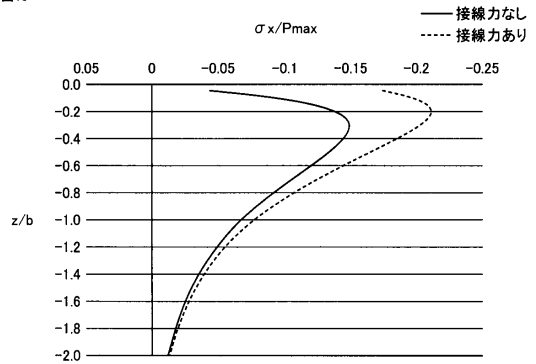
【図15】

図15



【図16】

図16



20

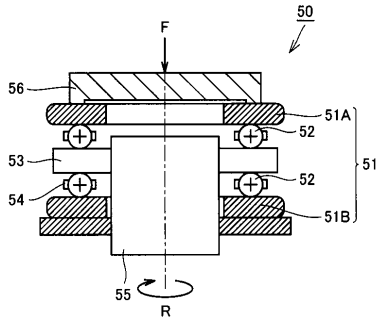
30

40

50

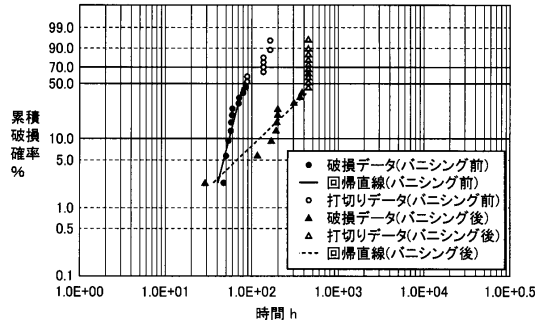
【 図 17 】

図17



【 図 18 】

図18



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

(72)発明者 杉崎 良典

三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内

審査官 稲村 正義

(56)参考文献 特開平03-271343(JP,A)

特開2002-181050(JP,A)

特開2011-067868(JP,A)

特開2016-151352(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

F16C 19/00, 33/00