(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3809659号
(P3809659)

(45)発行日　平成18年8月16日(2006.8.16)　(24)登録日　平成18年6月2日(2006.6.2)

(51)Int.Cl.		F I	
F16C 33/62	(2006.01)	F16C 33/62	
F16C 33/64	(2006.01)	F16C 33/64	
G11B 19/20	(2006.01)	G11B 19/20	E
C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/00	301H
C22C 38/22	(2006.01)	C22C 38/22	

請求項の数 2　(全 22 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平7-268284
(22)出願日　平成7年10月17日(1995.10.17)
(65)公開番号　特開平9-49527
(43)公開日　平成9年2月18日(1997.2.18)
審査請求日　平成14年7月12日(2002.7.12)
(31)優先権主張番号　特願平6-250897
(32)優先日　平成6年10月17日(1994.10.17)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願平7-132100
(32)優先日　平成7年5月30日(1995.5.30)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000004204
日本精工株式会社
東京都品川区大崎１丁目６番３号
(74)代理人　100056833
弁理士　小山　欽造
(74)代理人　100087457
弁理士　小山　武男
(72)発明者　平川　清
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目５番５０号
日本精工株式会社内
(72)発明者　木内　昭広
神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目５番５０号
日本精工株式会社内

審査官　冨岡　和人

最終頁に続く

(54)【発明の名称】小型玉軸受及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

外周面に内輪軌道を有する内輪又は軸と、内周面に外輪軌道を有する外輪と、上記内輪軌道と外輪軌道との間に転動自在に設けられた複数の玉とを備え、これら各玉の径が３㎜以下で、且つ、これら複数の玉が配列されるピッチ円直径が１１㎜以下であり、ＪＩＳの５級以上の高精度の小型玉軸受に於いて、上記内輪軌道と外輪軌道との一方の軌道をその周面に有する部材と上記各玉との少なくとも一方が、７重量％以上１８重量％以下のＣｒと、０．５重量％以上１．２重量％以下のＣとを含み、且つ０．８重量％以上６重量％以下のＭｏと、０．３重量％以上３重量％以下のＶと、１重量％以上６重量％以下のＷとのうちの１種又は２種以上を含み、且つ、Ｃの含有量がＣｒの含有量との関係で、（１．２３－０．０３５Ｃｒ）重量％以下に規制されている二次硬化型の鋼により造られており、当該部材と上記各玉との少なくとも一方は硬化させたものであって、表面硬度がH_RＣ５７以上であり、且つ少なくとも表面層の残留オーステナイト量が２容量％以下である事を特徴とする小型玉軸受。

【請求項２】

請求項１に記載した小型玉軸受を造る際に、二次硬化型の鋼により造られた部材を、二次硬化が生じる温度で焼き戻す、小型玉軸受の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】

この発明の対象となる小型玉軸受は、例えばハードディスクドライブ装置（ＨＤＤ）やビデオテープレコーダ（ＶＴＲ）、ディジタルオーディオテープレコーダ（ＤＡＴ）等に組み込んで、高速で回転するスピンドルを支承したり、或はＨＤＤ等に組み込まれるスイングアームを支承するのに利用する。

【０００２】

【従来の技術】

例えばコンピュータに組み込まれるＨＤＤには、図１に示す様なスピンドルモータを組み込んで、ハードディスク駆動用の軸１を高速で回転駆動する。この軸１の外周面とハウジング２の内周面との間には、それぞれが転がり軸受である１対の玉軸受３、３を設けて、上記軸１をハウジング２の内側に、回転自在に支承している。各玉軸受３、３は、それぞれ外周面に内輪軌道４、４を有する鋼製の内輪５、５と、内周面に外輪軌道６、６を有する鋼製の外輪７、７と、上記内輪軌道４、４と外輪軌道６、６との間にそれぞれ複数個ずつ、転動自在に設けられた、鋼製の玉８、８とから構成される。各玉８、８には予圧を付与して、上記軸１の回転時に、がたつきが生じない様にしている。

【０００３】

又、ＨＤＤ用のスピンドルモータとしては、上述した図１に示した構造のものの他、図２～３に示す様な構造のものも知られている。このうち、図２に示したものは、内周面に複列の外輪軌道６、６を有する外輪７ａとハブとを一体にすると共に、内輪軌道４、４を軸１の外周面とこの軸１に外嵌した内輪５の外周面とに形成したものである。又、図３に示したものは、軸１の外周面に複列の内輪軌道４、４を形成すると共に外輪７ｂの内周面に複列の外輪軌道６、６を形成したものである。更に、ＨＤＤ用のスイングアーム１３は、例えば図２０に示す様な構造により支持して、スピンドルモータ１４によりハブ１５を介して回転駆動される磁気ディスク１６の有効エリアへのアクセス位置決めを可能にしている。上記スイングアーム１３の軸１７は、１対の玉軸受３、３により枢支して、コイル等により旋回制御する。従って、上記スイングアーム１３の先端に取付けられたヘッドが、上記磁気ディスク１６の（半径方向の）有効エリアを全面に亙ってカバーできる。

【０００４】

何れの構造の場合も、内輪軌道４、４及び外輪軌道６、６を設けた各部材、即ち、図１の構造に於ける内輪５、５及び外輪７、７、図２の構造に於ける外輪７ａ、軸１、及び内輪５、図３の構造に於ける軸１及び外輪７ｂは、従来、高炭素クロム軸受鋼であるＳＵＪ２（ＪＩＳ　Ｇ　４８０５）により造り、８２０～８６０℃で焼き入れした後、１６０～２００℃で焼き戻ししていた。これらの熱処理の結果得られる軌道輪の硬度（ロックウェル硬度）はH_RC ５８～６４、残留オーステナイト量（γ_R）は８～１４容量％とされていた。

【０００５】

又、耐食性を要求される部分に使用する場合には、軌道輪をステンレス鋼により造る場合もあった。又、上記図２０に示した様な読み取りヘッドを備えたスイングアーム支持用の玉軸受３、３の構成部品には、ステンレス鋼を使用していた。この様な場合に使用するステンレス鋼としては、ＳＵＳ４４０Ｃ（ＪＩＳ　Ｇ　４３０３）、或は１３Ｃｒ系マルテンサイトステンレス鋼を１０５０℃前後の温度で焼き入れした後、深冷処理（サブゼロ）を施し、１５０～２００℃程度で焼き戻ししたものを使用していた。この様なステンレス鋼により造られる軌道輪の硬度（ロックウェル硬度）はH_RC ５７～６２、残留オーステナイト量（γ_R）は８～１２容量％とされていた。

【０００６】

又、特開平５－１９５０６９号公報には、軸受鋼の表面にショットピーニングを施す技術が記載されている。この公報に記載された技術によれば、その硬度をビッカース硬度（H_V）が８５０～９５０（ロックウエル硬度に換算するとH_RC ６５．５～６８）にする事ができる。従って、上記公報に記載された技術により上記軌道輪或は各玉を製造した場合、潤滑油中に異物が混入していても、当該軌道輪に圧痕が形成され難く、又、摩耗が進み難い。この為、軸受の長寿命化を図れる。

【０００７】
従来から、この様な玉軸受を構成する軌道輪の軌道面（内輪軌道４、４及び外輪軌道６、６）及び玉８、８の転動面の永久変形（塑性変形）に就いては、基本静定格荷重C_0で定義されている。そしてこの基本静定格荷重C_0では、上記軌道面と玉８、８の転動面との最大接触面圧が４０００MPa を越えると、軌道面及び転動面に有害な永久変形が生じるとされている。
【０００８】
【発明が解決しようとする課題】
一方、ＨＤＤやＶＴＲに使用される高精度の小型玉軸受、即ち、寸法精度或は回転精度がＪＩＳの５級以上であり、低トルクを要求される玉軸受の場合、要求される音響並びに騒音性能が厳しい。この様な高精度の小型玉軸受では、上記基本静定格荷重C_0により規定された荷重（最大接触面圧、４０００MPa ）よりも遥かに小さな荷重や衝撃荷重によって軌道面や転動面に生じる、極めて小さな永久変形により、音響劣化（騒音上昇）等が生じると言う問題が発生した。図２０に示した様なスイングアーム用の玉軸受の場合、上記永久変形は、読み取り精度の悪化が問題となる。
【０００９】
上述の様な高精度の小型玉軸受としては一般的に、内輪軌道４と外輪軌道６との間に組み込まれる複数の玉８、８（図１～３）の径D_W（図１）が３㎜以下で、且つ、これら複数の玉８、８が配列されるピッチ円直径D_{PW}（図１）が１１㎜以下である玉軸受３、３を使用している。ところが、近年に於けるＨＤＤやＶＴＲ等の小型化に伴って、これらに組み込まれる玉軸受３、３としてより小型のものが使用される様になっている。そして、この様な小型のＨＤＤやＶＴＲ等の小型機器に組み込まれた玉軸受３、３の場合には、機器自体の可搬化による落下の機会の増大等により、衝撃が加えられる機会が増えている。そして、衝撃が加わった場合には、比較的小さな衝撃荷重でも軌道面や転動面が永久変形し、音響劣化や回転トルクむらの発生等、玉軸受を組み込んだ機器の性能が劣化する原因となる。
【００１０】
この様な性能劣化に結び付く軌道面や転動面の永久変形は、軌道輪や各玉を構成する鋼中に含まれる残留オーステナイトの降伏応力が低い為に発生する。この様な残留オーステナイトに起因する永久変形を防止する為に本発明者等は先に、軌道輪を構成する鋼中に含まれる残留オーステナイトの量を６容量％以下にする発明をなした（特願平５－２１７９１６号）。この様に、軌道輪を構成する鋼中に含まれる残留オーステナイトの量を６容量％以下に抑える事で、衝撃荷重によって当該軌道輪が永久変形しにくくなる。
【００１１】
例えば、
(1) ＳＵＪ２により軌道輪を造る場合には、２４０℃前後で焼き戻しを行なう事により、残留オーステナイト量をほぼ０％とする事ができて、耐衝撃性（衝撃荷重による永久変形の発生しにくさ）を大きく向上させる事ができる。又、前記特開平５－１９５０６９号公報に記載された技術を用いた場合、残留オーステナイト量が１０容量％以下で、且つ硬さがHv ８５０～９５０となり、耐圧痕性の向上を図れる。
(2) ＳＵＳ４４０Ｃや１３Ｃｒ系マルテンサイトステンレス鋼の場合には、５００℃を越える温度で焼き戻しを行なう事により、残留オーステナイト量を６容量％以下に減少させ、耐衝撃性を向上させる事ができる。
一方、
(3) 従来から軌道輪を造る為に使用されている二次硬化型の軸受材料であるＭ５０（ＡＭＳ６４９０又はＡＭＳ６４９１（ＡＭＳはＳＡＥ中の規格））や高速度工具鋼であるＳＫＨ４（ＪＩＳ　Ｇ　４４０３）は、表面硬度が高く、優れた耐衝撃性を有する。
【００１２】
ところが、上記(1)(3)により造られた軌道輪は、Ｃｒの含有率が低く、使用条件によっては十分な耐食性を得られない。即ち、例えばＨＤＤ用の玉軸受の場合には、軌道輪を固

定する為に接着剤を使用する。この為、軌道輪の内径面（内輪の場合）或は外径面（外輪の場合）は、製造工程に於いて完全に脱脂される。従って、玉軸受の完成から組み付けまでの間、或は組み付け後、これら内径面或は外径面が錆びるのを防止する為に、当該軌道輪を十分な耐食性を有する材料により造る必要がある。従って、この様な用途には、上記(1)(3)により造られた軌道輪を使用する事はできない。

【００１３】

一方、上記(2) により造られた軌道輪は、十分な耐食性を有する反面、十分な耐久性を得にくい。即ち、５００℃を越える温度で焼き戻しを行なうと、表面硬度がH_RC ５６以下にまで低下してしまう。この結果、軌道面の転がり疲れ寿命並びに耐摩耗性が低下し、当該軌道輪を含んで構成される玉軸受の寿命が短くなってしまう。又、軸受の組立工程に於いて軌道面に傷が付き易くなる為、製造過程での音響不良率が増加すると言った不具合も生じる。

【００１４】

本発明の小型玉軸受及びその製造方法は、上述の様な事情に鑑みて発明したものであって、十分な耐食性を確保しつつ、軌道輪と各玉との少なくとも一方の耐荷重性及び耐衝撃性（耐圧痕性）を向上させる事により、軌道面と転動面との少なくとも一方に有害な永久変形を生じにくくするものである。

【００１５】

【課題を解決するための手段】

本発明の対象となる小型玉軸受は、従来から知られた玉軸受と同様に、外周面に内輪軌道を有する内輪又は軸と、内周面に外輪軌道を有する外輪と、上記内輪軌道と外輪軌道との間に転動自在に設けられた複数の玉とを備えている。そして、これら各玉の径が３㎜以下で、且つ、これら複数の玉が配列されるピッチ円直径が１１㎜以下であり、ＪＩＳの５級以上の高精度のものである。

【００１６】

特に、本発明の小型玉軸受に於いては、上記内輪軌道と外輪軌道との一方の軌道をその周面に有する部材（内輪、軸、外輪のうちの１個乃至複数の部材）と上記各玉との少なくとも一方が、７重量％以上１８重量％以下のＣｒ（クロム）と、０．５重量％以上１．２重量％以下のＣ（炭素）とを含み、且つ０．８重量％以上６重量％以下のＭｏ（モリブデン）と、０．３重量％以上３重量％以下のＶ（バナジウム）と、１重量％以上６重量％以下のＷ（タングステン）とのうちの１種又は２種以上を含み、且つ、Ｃの含有量がＣｒの含有量との関係で、（１．２３－０．０３５Ｃｒ）重量％以下に規制されている二次硬化型の鋼により造られている。そして、当該部材と各玉との少なくとも一方は、この鋼を硬化させたもので、表面硬度がH_RC ５７以上である。且つ、少なくとも表面層の残留オーステナイト量が２容量％以下である。

【００１７】

上記鋼を硬化させる為の第一の方法は、請求項２に係る発明の様に、上記二次硬化型の鋼により造られた部材を、二次硬化が生じる温度で焼き戻す事である。又、第二の方法は、当該部材と各玉との少なくとも一方を構成する鋼を焼き入れ及び焼き戻し後、表面硬化手段としてのショットピーニングを施し、表面硬度をH_RC ５７以上とする。更に、第三の方法は、当該部材と各玉との少なくとも一方を構成する鋼を焼き入れ後に深冷処理を施してから焼き戻しを行なった後、ショットピーニングを施し、表面硬度をH_RC ５７以上とする。

【００１８】

尚、前記の条件を満たす合金（鋼）で造る部材は、内輪又は軸と外輪と玉との総てである事が好ましいが、例えば何れかの部品の使用条件が他の部品の使用条件よりも厳しい場合には、内輪又は軸と外輪との一方の部材と玉とを上記合金により造ったり、或は、単に玉や一方の部材のみを、上記合金により造る事もできる。

【００１９】

又、上記Ｃの含有量の上限は、Ｃｒの含有量との関係で、（１．２３－０．０３５Ｃｒ

）重量％とする。この式中でのＣｒとは、Ｃｒの含有量を表す重量％の値、即ち『５～１８』を表している。従って、Ｃの含有量の上限は、Ｃｒの含有量の増大に伴って減少する。例えば、Ｃｒが最大限（１８重量％）含まれている場合にＣの含有量の上限値は、１．２３－０．０３５×１８＝０．６（重量％）となる。反対に、Ｃｒが最小限（５重量％）しか含まれていない場合にＣの含有量の上限値は、１．２３－０．０３５×５　１．０６（重量％）となる。

【００２０】

【作用】

上述の様に構成される本発明の小型玉軸受及びその製造方法の場合には、荷重や衝撃荷重によって軌道面或は玉の転動面に有害な永久変形を生じにくくなる。即ち、オーステナイトはマルテンサイトに比べて降伏応力が低い為、残留オーステナイト量が８～１４容量％と、比較的多い従来の小型玉軸受の場合には、小さな荷重等によって有害な永久変形を生じる。これに対して、残留オーステナイト量が２容量％以下と少ない鋼により造られた部材或は玉を含んで構成される本発明の小型玉軸受の場合には、軌道面或は玉の耐圧痕性が向上し（降伏応力が高くなり）、上記小さな荷重等によっては、有害な永久変形を生じにくくなる。

【００２１】

特に、７重量％以上１８重量％以下のＣｒと、０．５重量％以上１．２重量％以下のＣとを含み、且つ、０．８重量％以上６重量％以下のＭｏと、０．３重量％以上３重量％以下のＶと、１重量％以上６重量％以下のＷとのうちの１種又は２種以上を含み、且つ、Ｃの含有量がＣｒの含有量との関係で、（１．２３－０．０３５Ｃｒ）重量％以下に規制されている二次硬化型の鋼により上記軌道輪或は玉を造り、この鋼を二次硬化が生じる温度で焼き戻したり、ショットピーニングを施しているので、残留オーステナイト量を少なくしつつ、H_RC ５７以上の表面硬度を確保できる。従って、本発明の小型玉軸受の場合、軌道面或は転動面の転がり寿命並びに耐摩耗性を十分に確保できる。更に、例えば本発明を軌道輪に適用した場合、７重量％以上のＣｒを含む為、十分な耐食性を確保できて、ＨＤＤ等、表面を脱脂した状態で使用する用途でも、軌道輪の表面が錆びる事がない。

尚、各元素を含有させた理由並びに含有量等の限定理由は次の通りである。

【００２２】

ＣｒはＨＤＤ用玉軸受の様に、軌道輪の表面を脱脂したままの状態で使用される場合にも、軌道輪の表面が錆びる事を防止する（耐食性を得る）為に加える。この場合に、含有量が５重量％未満では十分な耐食性を得られない。更に、湿度が高く、軌道輪の表面に結露が生じる可能性がある、より厳しい条件で使用される小型玉軸受の場合には、Ｃｒの含有量を７重量％以上にする。但し、Ｃｒを１８重量％を越えて含有させても、それ以上耐食性が向上する事はない。Ｃｒは比較的高価な金属であり、製造コスト低減の面からは、含有量を少なく抑える事が好ましい。以上の点から、Ｃｒの含有量を７～１８重量％の範囲とした。

【００２３】

Ｃは、軌道輪或は各玉を焼き入れ、焼き戻しした後にH_RC ５７以上の表面硬度を確保する為に含有させる。Ｃの含有量が０．５重量％未満の場合には、焼き入れ、焼き戻し後の表面硬度が不十分（H_RC ５７未満）となり、軌道面或は転動面の転がり寿命並びに耐摩耗性を確保できなくなる。よって、Ｃの含有量を０．５重量％以上とした。一方、Ｃを１．２重量％を越えて含有させても表面硬度は上昇しない為、Ｃの含有量を１．２重量％以下とした。但し、Ｃの含有量がＣｒの含有量との関係で、（１．２３－０．０３５Ｃｒ）重量％を越えた場合には、巨大な一次炭化物が形成され易くなる。即ち、上記Ｃｒを始め、上記Ｍｏ、Ｗ、Ｖ等の炭化物形成元素とＣとで形成される炭化物の形態が、上記炭化物形成元素をＭで表わした場合に$M_{23}C_6$、M_7C_3等となる。この様な炭化物は、例えばFe_3Cとは異なり、ソーキング等によっては微細化できない。そして、この様な炭化物は、軌道輪や各玉に、そのままの大きさで残る傾向にある。この様に巨大な一次炭化物が形成された場合には、軌道面或は転動面の性状が悪化し（表面粗さが大きくなり）、小型玉軸

受の運転時に発生する音響や振動が大きくなる。一次炭化物による表面性状の悪化は、仕上げ研削により修正可能ではあるが、硬い一次炭化物を研削する事は面倒で軌道輪或は各玉の製造コストを高める原因となる為、好ましくない。よって、Ｃの含有量の上限を上記式で規制する。

【００２４】

Ｍｏ、Ｖ、Ｗは軌道輪や軸、或は各玉を造る鋼を二次硬化型の鋼とする為に含有する。このうち、Ｍｏは二次硬化の為には０．８重量％以上必要であるが、６重量％を越えるとその効果が減少する事から、Ｍｏの含有率を０．８重量％以上６重量％以下とした。又、Ｖは二次硬化の為には０．３重量％以上必要であるが、３重量％を越えるとその効果が減少する事から、Ｖの含有率を０．３重量％以上３重量％以下とした。更に、Ｗは二次硬化の為には１重量％以上必要であるが、６重量％を越えるとその効果が減少する事から、Ｗの含有率を１重量％以上６重量％以下とした。

【００２５】

残留オーステナイト量の上限値は、荷重や衝撃荷重によって軌道面或は転動面に有害な永久変形を生じにくくする為に規制する。降伏応力が低いオーステナイトが多く含まれると、小さな荷重等によって有害な永久変形を生じる。この様な永久変形の発生を防止する為には、残留オーステナイト量を少なく抑える事が必要である。本発明者の実験によれば、残留オーステナイト量が６容量％以下であれば、軌道面或は転動面の耐圧痕性が向上し、転がり軸受の音響特性、振動特性が実用上十分な程度になる事が分った。尚、残留オーステナイト量は少ない程好ましい。

【００２６】

特に、前述した様に、複数の玉８、８の径D_W（図１）が３㎜以下で、且つ、これら複数の玉８、８が配列されるピッチ円直径D_{PW}（図１）が１１㎜以下である小型玉軸受の場合には、上記音響特性並びに振動特性の要求が厳しくなる。従って、本発明の対象となる小型玉軸受に於いては、残留オーステナイト量を６容量％以下に抑える事が重要である。更に、上述の様な小型玉軸受を構成する軌道輪、或は玉８、８中に含まれる残留オーステナイト量は、次述する理由で、２容量％以下に抑える。

【００２７】

尚、残留オーステナイト量を少なく抑える事で、軌道面或は転動面の耐圧痕性を向上させる効果の他、この軌道面或は転動面の表面精度が経時的に劣化する事を防止する事もできる。即ち、軌道面或は転動面部分に存在する残留オーステナイト量が多いと、小型玉軸受の使用に伴ってこの軌道面或は転動面に繰り返し加わる転がり応力により、この残留オーステナイトが分解する。そして、分解に伴って上記軌道面或は転動面の表面精度が劣化する。これに対して本発明の場合には、従来の転がり軸受に比べて残留オーステナイト量が少ない為、残留オーステナイトの分解に伴う表面精度の劣化、並びにこの様な表面精度の劣化に伴う音響特性の劣化が少なくなる。本発明の場合、残留オーステナイト量を２容量％以下に抑える事により、上述の様な残留オーステナイトの分解に伴う音響特性の劣化を殆どなくす事ができる。

【００２８】

又、軌道輪或は玉の表面硬度、特に軌道面或は転動面の表面硬度をH_RC ５７以上とするのは、前述の様に、この軌道面或は転動面の転がり寿命並びに耐摩耗性を確保する為である。本発明者の実験によれば、ＨＤＤ等に組み込まれた状態で使用される、上述の様な小型の玉軸受の場合には、表面硬度をH_RC ５７以上にすれば、転がり寿命並びに耐摩耗性を確保して、十分な耐久性を確保できる事が確認された。尚、表面硬度の硬化層深さは、表面より玉径の２％に相当する深さ以上あれば効果がある。従って、本明細書で『表面層』と言った場合、表面から、玉径の２％に相当する深さまでの領域を指す。

【００２９】

【実施例】

次に、本発明の効果を確認する為に、本発明者が行なった実験に就いて説明する。先ず、二次硬化型の鋼を使用する発明の効果を確認する為に行なった実験に就いて説明する。

実験は、次の表１、２に示す様に、軌道輪の残留オーステナイト量等が異なる１９種類の供試体に就いて行なった。残留オーステナイト量の調整は、軌道輪に施す熱処理の相違により調整した。

【００３０】

【表１】

		化学成分（重量％）								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W
実施例	A_4	0.82	0.53	0.68	0.011	0.009	8.0	2.4	0.5	
	A_6	0.68	0.51	0.37	0.009	0.010	14.0	2.1		1.0
	A_7	0.96	1.10	0.40	0.015	0.009	12.0	0.8	0.8	
	A_8	0.96	0.38	0.65	0.013	0.010	7.0		1.5	
	A_9	1.13	0.68	0.54	0.015	0.010	10.0		1.0	1.5
比較例	B_1	1.05	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		
	B_2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
	B_3	0.42	0.34	0.64	0.012	0.010	4.0	1.5	0.4	1.1
	B_4	0.82	0.53	0.68	0.011	0.009	8.0	2.4	0.5	
	B_5	0.85	0.85	0.38	0.013	0.010	9.0	1.5		
	B_6	0.70	0.50	0.76	0.015	0.013	12.3	0.3		
	B_7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
	B_8	1.05	0.21	0.32	0.014	0.015	1.4			
	B_9	〃	〃	〃	〃	〃	〃			
	B_{10}	0.70	0.50	0.76	0.015	0.013	12.3	0.3		
	A_1	0.50	0.12	0.35	0.007	0.009	5.0	1.4	0.3	1.3
	A_2	0.97	0.49	0.71	0.013	0.010	6.0	2.5		
	A_3	0.82	0.53	0.68	0.011	0.009	8.0	2.4	0.5	
	A_5	0.88	0.80	0.38	0.013	0.010	9.0	1.5		

【００３１】

【表２】

		熱処理		表面硬度 (H_RC)	一次炭化物	耐食性	供試体全体（表面層及び心部）の残留オーステナイト（容量％）	耐衝撃性
		焼き入れ温度（℃）	焼き戻し温度（℃）					
実施例	A_4	１０８０	＊５４０＊＊	６１	な し	◎	０	◎
	A_6	１１００	＊５２０＊＊	５９．５	〃	◎	２	◎
	A_7	１１００	５４０＊＊	５８	有	◎	０	◎
	A_8	１１００	５４０	６０	な し	◎	０	◎
	A_9	１１００	５４０	６０	有	◎	０	◎
比較例	B_1	１０５０	＊５００	５８	有	◎	９	×
	B_2	１０５０	＊５４０	５４	有	◎	０	◎
	B_3	１１００	＊５２０	５６	な し	△	２	◎
	B_4	１０８０	＊２００	６０．５	な し	◎	１４	×
	B_5	１０８０	５００	６０．５	な し	◎	１３	×
	B_6	１０５０	＊５００	５７	な し	◎	８	×
	B_7	１０５０	＊５２０	５５	な し	◎	３	○
	B_8	８５０	１８０	６２	な し	×	１０	×
	B_9	８５０	２４０	５９	な し	×	０	◎
	B_{10}	１０５０	＊５３０	５２．５	な し	◎	０	◎
	A_1	１１００	＊５１０	５８	な し	○	５	△
	A_2	１０８０	５４０＊＊	６２	〃	○	０	◎
	A_3	１０８０	＊５２０＊＊	６１．５	〃	◎	６	△
	A_5	１０８０	５２０	６０	〃	◎	４	○

【００３２】

これら表１、２のうちの表１には、１９種類の供試体を構成する合金の組成を記載している。尚、表１に記載された元素以外の割合部分は、Ｆｅ（鉄）と微量な不可避不純物とで占められ、全体が１００％となる。又、表２には、この１９種類の供試体に施した熱処理、その結果得られた硬さ（表面硬度をロックウェル硬度H_RCで示す）、一次炭化物の有無、耐食性の良否、表面層及び心部（即ち、各供試体全体に就いて）の残留オーステナイト量、耐衝撃性の良否を、それぞれ記載している。又、表２中、焼き戻し温度の欄で数字の左側に『＊』が記載されているものは、焼き入れ後、焼き戻しに先立って、深冷処理（サブゼロ）を施した。又、同欄で数字の右側に『＊＊』が記載されているものは、焼き戻し回数を２回とした。『＊＊』が記載されていないものの場合、焼き戻し回数は１回である。

【００３３】

これら表１、２に記載された１９種類の供試体のうち、A_4、A_6～A_9は本発明の実施例を、B_1～B_{10}、A_1～A_3、A_5は少なくとも１個の条件が本発明の範囲から外れる比較例を、それぞれ表している。又、表１と表２とにそれぞれ記載したA_1～A_9、B_1～B_{10}の符号は、互いに対応する（同じ供試体を表している）。

【００３４】

尚、請求項２に記載した第一の方法に於いて所望の表面硬度並びに残留オーステナイト量を得るのは、焼き戻し温度を規制する事で行なう。図４は、焼き戻し温度と表面硬度並びに残留オーステナイト量との関係を示している。この図４は、前記表１に記載した組成を有する合金を使用し、焼き戻し温度を変える事で得られる、表面硬度並びに残留オーステナイト量を求めたものである。この図４に記載した各種符号に付したA_1～B_{10}は、表１の記載と対応している。尚、焼き入れ温度は、前記表２に記載した温度を採用した。

【００３５】

この図４の記載から、次の事が分る。本発明を実施例に属するA_4、A_6～A_9の組成を有する合金、及び、本発明の実施例に近い、A_1～A_3、A_5の組成を有する合金、並

びにB_4、B_5の組成を有する合金の場合には、残留オーステナイト量を少なくすべく、５００℃を越える高い焼き戻し温度を採用した場合に、焼き戻しと同時に二次硬化で表面硬度が向上する。従って、表面硬度H_RC５７以上を確保し、しかも残留オーステナイト量を６容量％以下に、更には本発明の技術的範囲である２容量％以下に抑える事ができる。

【００３６】

即ち、何れの合金の場合にも残留オーステナイト量は、５００℃程度では未だ十分に少なくはならないが、焼き戻し温度が５００℃を越えると急激に減少し、５４０℃程度になるとほぼ０％になる。従って、焼き戻し温度として５００℃を越える温度を採用する必要があるが、二次硬化をしない、或は二次硬化の少ない合金の場合には、この様な高い焼き戻し温度の採用に伴って表面硬度が低下し、H_RC５７以上を確保できない。尚、上記B_4、B_5、A_3、A_5が比較例として記載されているのは、供試体に採用した焼き戻し温度（B_4＝２００℃、B_5＝５００℃、A_3＝５２０℃、A_5＝５２０℃）との関係で、残留オーステナイト量が十分に少なくない為である。又、上記A_1、A_2が比較例として記載されているのは、Ｃｒの含有率との関係で、後述する耐蝕性が十分に良好とは言えない為である。

【００３７】

次に、図５は残留オーステナイト量が音響レベルに及ぼす影響に就いて行なった実験の結果を示している。実験は、軌道輪の残留オーステナイト量が異なる玉軸受を図１に示す様なＨＤＤ用スピンドルモータに組み込み、この玉軸受にラジアル方向に亙る衝撃荷重を加えた後、このスピンドルモータの運転に伴う音響レベルを測定する事で行なった。玉軸受を構成する内輪と外輪とは同じ材質とした。図５の縦軸は衝撃荷重付与後の音響レベルを、横軸は付与した衝撃荷重の大きさを、それぞれ表している。又、この図５の二点鎖線イは、残留オーステナイト量が８容量％である供試体として前記表１、２にB_6として記載したものを、実線ロは、残留オーステナイト量が６容量％である供試体として同じくA_3として記載したものを、一点鎖線ハは、残留オーステナイト量が４容量％である供試体として同じくA_5として記載したものを、破線ニは、残留オーステナイト量が２容量％である供試体として同じくA_6として記載したものを、同じく破線ホは、残留オーステナイト量が０％である供試体として同じくA_4として記載したものを、それぞれ使用した。

【００３８】

この図５から明らかな通り、残留オーステナイト量が６容量％程度になると、衝撃荷重が大きい場合にも音響レベルの上昇量が少なくなる。そして、残留オーステナイト量が４容量％以下、更には２容量％以下になると、音響レベルの上昇量が少なくなるだけでなく、音響レベルが上昇し始める衝撃荷重が十分に大きくなる。この事から、残留オーステナイト量を少なく抑える事で軌道面の耐衝撃性が向上する事が分る。更に、残留オーステナイト量を０％とすれば、衝撃荷重によっても音響レベルが殆ど上昇しない。尚、表２に耐衝撃性を「×」「△」「○」「◎」で示した。このうち「×」は耐衝撃性が不十分なものを、「△」は実用レベルであるものを、「○」は良好なものを、「◎」は十分に良好なものを、それぞれ示している。

【００３９】

次に、図６～７は、Ｃｒの含有率が耐食性に及ぼす影響に就いて行なった実験の結果を示している。Ｃｒの含有率が異なる合金として前記表１に記載した合金中から９種類の合金を選択使用した。使用した合金は、Ｃｒの含有率が低い方から順に、B_8、B_3、A_1、A_2、A_8、A_4、A_9、A_7、A_6である。耐食性試験を行なうに当たり、これら９種類の合金でそれぞれ１０個ずつ、合計９０個の試験片を造り、耐食性試験に先立って前記表２に示した熱処理を施した後研磨仕上げを行ない、表面を脱脂した。各試験片は、直径が１３㎜、厚さが５㎜の円板状である。

【００４０】

耐食性試験は次の(1)(2)の２種類行なった。

(1) ＪＩＳ Ｃ ００２８に規定している環境試験方法（電気・電子）温湿度組合せ（サイクル）試験方法。

この試験方法により温湿度サイクルを１０サイクル行なった後、上記各試験片の表面を目視により観察し、表面に錆が発生している割合を求め、図６の縦軸の錆発生率として記載した。

(2) ＪＩＳ　Ｋ　２２４６に規定している湿潤箱試験。

この試験を１０００時間行なった後、上記各試験片の表面を目視により観察し、表面に錆が発生している割合を求め、図７の縦軸の錆発生率として記載した。

【００４１】

この様な実験の結果を表した図６～７の記載から明らかな通り、温湿度組合せ試験方法の様な環境条件の下では、Ｃｒの含有率が５重量％未満になると、腐食が発生し易くなる。又、湿潤箱試験の様な、より厳しい環境条件の下では、Ｃｒの含有率が７重量％未満になると、腐食が発生し易くなる。この実験の結果から、Ｃｒの含有率を５重量％以上とすれば一般的な条件下では軌道輪の表面に錆が発生する事を防止でき、更にＣｒの含有率を７重量％以上にすれば、より厳しい腐食条件の下でも、軌道輪の表面に錆が発生する事を防止できる事が分る。尚、表２には耐食性試験の結果を「×」「△」「○」「◎」の４段階に分けて記載した。このうち「×」は耐食性が不良であるものを、「△」はやや劣るものを、「○」は良好なものを、「◎」は十分に耐食性を有するものを、それぞれ表わしている。

【００４２】

次に、図８は、表面硬度が転がり疲れ寿命に及ぼす影響に就いて行なった実験の結果を表している。この実験は、電気製鋼研究所が編集し、理工学社が１９６９年５月２５日に発行した『特殊鋼便覧』の第１０～１２頁に記載された、スラスト型寿命試験機で行なった。表面硬度が異なる合金として前記表１、２に記載した合金中から６種類の合金を選択使用した。使用した合金は、表面硬度が低い方から順に、B_2、B_3、B_6、A_7、A_5、A_2である。転がり疲れ寿命試験を行なうに当たり、これら６種類の合金でそれぞれ試験片となるスラスト軌道輪を造り、転がり疲れ寿命試験に先立って前記表２に示した熱処理を施した後、スラスト玉軸受を組み立てた。そして、上記寿命試験機により、４９００MPa の面圧を付与して、上記６種類の試験片の転がり寿命を測定した。

【００４３】

この様な転がり疲れ寿命試験の結果を記載した図８で、縦軸は表面硬度がH_RC ６０である試験片に対する寿命比（表面硬度がH_RC ６０である試験片の寿命を１とした場合に於ける当該試験片の寿命の割合）を表している。この図８の記載から明らかな通り、転がり疲れ寿命は表面硬度に大きく影響され、表面硬度がH_RC ５５を越えてH_RC ５７付近まで、表面硬度が上昇する程転がり疲れ寿命が大きく延びる事が分る。

【００４４】

次に、図９は、表面硬度が耐摩耗性に及ぼす影響に就いて行なった実験の結果を表している。この実験は、図１０に示す様なサバン式摩耗試験機により行なった。この摩耗試験機は、荷重用錘９とバランス用錘１０とにより固定試験片１１を回転試験片１２の外周面に押し付け、この回転試験片１２の回転に伴うこれら両試験片１１、１２の摩耗量（合計値）を測定するものである。尚、これら両試験片１１、１２としては同じ材質のものを使用した。又、上記固定試験片１１を回転試験片１２に押し付ける初期面圧は１００MPa とし、回転試験片１２の周速（上記両試験片１１、１２の摩擦速度）は１m/s とした。又、これら両試験片１１、１２を造るのに使用した合金は、上述した転がり疲れ寿命試験の場合と同様に、表面硬度が低い方から順に、B_2、B_3、B_6、A_7、A_5、A_2である。この図９の記載から明らかな通り、耐摩耗性は表面硬度が向上する程高くなり、H_RC ５７以上あれば、十分な耐摩耗性を得る事ができる。

【００４５】

次に、残留オーステナイト量が軌道面の表面精度の経時的変化に及ぼす影響を調べる為に行なった実験に就いて説明する。残留オーステナイト量（γ_R）が８容量％である合金として前記表１、２のB_6として記載されたものを、同じく６容量％である合金としてA_3として記載されたものを、同じく２容量％である合金としてA_6として記載されたもの

を、同じく０％である合金としてA_4として記載されたものを、それぞれ使用した。

【００４６】

これら４種類の合金によって軌道輪を造り、この軌道輪を図１に示す様なスピンドルモータに組み込んでこのスピンドルモータを運転し、所定時間（１００時間及び３００時間）経過後に、軌道面の表面精度を測定した。この結果を、図１１に示す。この図１１に丸で囲んだ数字で表した各曲線のうち、曲線１はγ_Rが８容量％である場合の、曲線２はγ_Rが６容量％である場合の、曲線３はγ_Rが２容量％である場合の、曲線４はγ_Rが０％である場合の、それぞれ表面精度の変化を示している。この図１１の記載から明らかな通り、γ_Rが少なくなる程表面精度の劣化度合いは小さくなり、γ_Rが０％の場合には、殆ど表面精度が劣化しなくなる。

【００４７】

又、上記スピンドルモータの運転継続に伴うアンデロン値の変化を、所定時間（１００時間及び３００時間）経過後に測定した。測定したアンデロン値のうちのMEDIUM BANDを図１２（Ａ）に、HIGH BANDを同図（Ｂ）に、それぞれ記載した。この図１２に丸で囲んだ数字で表した曲線１～４は、上記図１１に於ける曲線１～４にそれぞれ対応する。上記図１１及びこの図１２の記載から明らかな通り、γ_Rが少なくなる程表面精度の劣化度合いが少なくなり、その結果、音響特性を示すアンデロン値が劣化する（大きくなる）程度も少なくなる。

【００４８】

次に、焼き入れ及び焼き戻しの後にショットピーニングを施す発明（第二の方法）、或は焼き入れ後深冷処理を施してから焼き戻しを行ない、更に、ショットピーニングを施す発明（第三の方法）の効果を確認する為に行なった実験に就いて説明する。この実験は、前述した二次硬化型の鋼を使用した発明の効果を確認する為に行なった実験と同様のものであり、次の表３～４に示す様に、残留オーステナイト量等が異なる１９の供試体に就いて行なった。残留オーステナイト量の調整は、軌道輪に施す熱処理の相違、並びにショットピーニングの有無により調整した。尚、上記表３、４に記載された１９種類の供試体のうち、A_{20}は本発明の実施例を、B_1、B_2、B_7、B_{10}～B_{14}、A_{10}～A_{19}は少なくとも１個の条件が本発明の範囲から外れる比較例をそれぞれ表している。又、表３と表４とにそれぞれ記載したA_{10}～A_{20}、B_1、B_2、B_7、B_{10}～B_{14}の符号は、互いに対応する（同じ供試体を表している）。更に、上記B_1、B_2、B_7、B_{10}は前記表１、２に記載したB_1、B_2、B_7、B_{10}にそれぞれ対応する。又、上記A_{10}、A_{11}、A_{12}、A_{13}は、それぞれB_2、B_{10}、B_7、B_1と同じ化学成分の素材を、それぞれと同じ熱処理を施し、更にショットピーニングを施したものである。例えば、上記A_{10}とB_2とは、ショットピーニングを施したか否かの条件以外の条件はすべて同じである。そして、A_{10}にはショットピーニングを施し、B_2にはショットピーニングを施さない。A_{11}とB_{10}、A_{12}とB_7、A_{13}とB_1に就いても同様である。

【００４９】

【表３】

		化学成分（重量％）								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W
実施例	A_{20}	0.85	0.85	0.38	0.013	0.010	9.0	1.5		
比較例	B_1	1.05	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		
	B_2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
	B_7	0.70	0.50	0.76	0.015	0.013	12.3	0.3		
	B_{10}	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
	B_{11}	1.05	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		
	B_{12}	1.05	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		
	B_{13}	0.61	0.42	0.35	0.018	0.011	4.2	0.45		
	B_{14}	0.35	0.42	0.35	0.018	0.011	13.1	0.45		
	A_{10}	1.05	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		
	A_{11}	0.70	0.50	0.76	0.015	0.013	12.3	0.3		
	A_{12}	0.70	0.50	0.76	0.015	0.013	12.3	0.3		
	A_{13}	1.05	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		
	A_{14}	1.05	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		
	A_{15}	1.05	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		
	A_{16}	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
	A_{17}	0.50	0.12	0.32	0.007	0.009	5.0	1.4	0.3	1.3
	A_{18}	0.70	0.50	0.76	0.015	0.013	12.3	0.3		
	A_{19}	0.50	0.42	0.35	0.018	0.011	17.2	0.45		

【００５０】
【表４】

		熱処理		表面硬度	硬化深さ	一次	耐食性	表面層の残留オーステナイト	ショット	耐衝撃
		焼き入れ温度（℃）	焼き戻し温度（℃）	(H_RC)	(mm)	炭化物		（容量%）	ピーニング	性
実施例	A_{20}	1050	*160	63	0.35	なし	◎	0（12）	あり(100)	◎
比較例	B_1	1050	*500	58		有	◎	9（9）	なし	×
	B_2	1050	*540	54		有	◎	0（0）	なし	◎
	B_7	1050	*520	55		なし	◎	3（3）	なし	○
	B_{10}	1050	*530	52.5		なし	◎	0（0）	なし	◎
	B_{11}	1050	*160	60		有	◎	9（9）	なし	×
	B_{12}	1050	*540	54		有	◎	0（0）	なし	◎
	B_{13}	1050	*160	61	0.35	なし	×	0（7）	あり(100)	◎
	B_{14}	1050	*160	56	0.35	なし	○	0（6）	あり(100)	◎
	A_{10}	1050	*540	59	0.30	有	◎	0（0）	あり(60)	◎
	A_{11}	1050	*530	57	0.30	なし	◎	0（0）	〃	◎
	A_{12}	1050	*520	60	0.30	なし	◎	0（3）	〃	◎
	A_{13}	1050	*500	62	0.30	有	◎	4（9）	あり(60)	△
	A_{14}	1050	*160	66	0.35	有	◎	0（9）	あり(100)	◎
	A_{15}	1050	160	62	0.30	有	◎	6（12）	あり(60)	△
	A_{16}	1050	160	68	0.35	有	◎	2（12）	あり(100)	◎
	A_{17}	1050	*160	61	0.35	なし	○	0（7）	あり(100)	◎
	A_{18}	1050	*160	61	0.35	なし	◎	0（8）	あり(100)	◎
	A_{19}	1050	*160	58	0.30	なし	◎	2（8）	あり(60)	◎

【００５１】

この表３には、１９種類の供試体を構成する合金の組成（Ｆｅ及び不可避不純物を除く）を記載している。又、表４には、表面層の残留オーステナイト量（但し、表面層を除く心部の残留オーステナイト量に就いては括弧内に併記した。）、この１９種類の供試体に施した熱処理、ショットピーニングの有無（括弧内の数値は投射速度［ｍ／ｓ］を表す）、その結果得られた硬さ（表面硬度をロックウェル硬度H_RCで示す）、及び各実験結果を、それぞれ記載している。これら表３～４に記載された１９種類の供試体のうち、A_{20}は第三の方法による本発明の実施例を、B_1、B_2、B_7、B_{10}～B_{14}、A_{10}～A_{19}は上記第一～第三の方法による本発明に属さない比較例を、それぞれ表している。尚、表４中、焼き戻し温度の欄で数字の左側に『＊』が記載されているものは、上記第三の方法を構成する深冷処理を施した事を表している。又、焼き戻し回数は何れのものも１回である。

【００５２】

即ち、所望の表面硬度、及び表面層に於ける所望の残留オーステナイト量は、A_{10}～A_{14}、A_{17}～A_{20}及びB_{13}、B_{14}では、焼き戻し、深冷処理、ショットピーニングにより得る。A_{15}、A_{16}は上記深冷処理を省略し、上記焼き戻し、ショットピーニングにより得る。上記ショットピーニングは、ショット粒に平均粒径０．５２㎜、平均硬さH_RC６１の鋼球を使用し、ショット投射速度（平均投射速度）を、A_{10}～A_{13}、A_{15}、A_{19}に就いては６０ｍ／秒とし、A_{14}、A_{16}～A_{18}、A_{20}、B_{13}、B_{14}に就いては１００ｍ／秒として行なった。カバレージは、上記ショット投射速度に拘らず、５００％とした。

【００５３】

上述した様なショットピーニングを施すのは、次の理由による。即ち、上記第二、第三の各方法に対応する供試体の場合、ＣとＣｒとを含有する鋼を焼き戻しした段階では、表面硬度がH_RC５７以上で、残留オーステナイト量が６容量％以下と言う条件を同時には満たしていない。従って、上記焼き戻しの後、ショットピーニングを施し、このショットピ

ーニングの機械的エネルギによりオーステナイトをマルテンサイト化すると共に、表面硬度の向上を図る。これにより、上記表面硬度をH_RC５７以上とし、且つ、少なくとも表面層の残留オーステナイト量を６容量％以下、更には２容量％以下にする。又、ショットピーニングに加え、深冷処理を施すのも同様に、オーステナイトをマルテンサイト化して上記残留オーステナイト量を６容量％以下、更には２容量％以下にする効果をより高める為である。この様に、ショットピーニング、或はショットピーニングと深冷処理とを組み合わせた処理を使用する構成によっても、前述の二次硬化型の鋼を使用する発明の実施例と同様、残留オーステナイト量が低下すると共に、表面硬度が向上する。ショットピーニングを使用すると、１５０～２００℃の低温で焼き戻した場合、表面硬度をH_RC６８程度まで向上させる事が可能である。

【００５４】

上記ショットピーニングを使用する発明の効果を確認する為に行なった実験のうち、先ず図１３は残留オーステナイト量が音響レベルに及ぼす影響に就いて行なった実験の結果を示している。この実験は、前記二次硬化型の鋼を使用した発明の効果を確認する為に行なった実験に於ける、残留オーステナイト量が音響レベルに及ぼす影響に就いて行なった実験と同様である。図１３の縦軸は衝撃荷重付与後の音響レベルを、横軸は付与した衝撃荷重の大きさを、それぞれ表している。又、この図１３の二点鎖線チは、表面層に於ける残留オーステナイト量が９容量％である供試体として前記表３、４にB_1、B_{11}として記載したものを、破線リは、表面層に於ける残留オーステナイト量が６容量％である供試体として同じくA_{15}として記載したものを、一点鎖線ヌは、表面層に於ける残留オーステナイト量が２容量％である供試体として同じくA_{16}、A_{19}として記載したものを、実線ルは、表面層に於ける残留オーステナイト量が０％である供試体として同じくA_{10}～A_{12}、A_{14}、A_{17}～A_{18}、A_{20}、B_2、B_{10}、B_{12}～B_{14}として記載したものを、それぞれ使用した。

【００５５】

この図１３から明らかな通り、表面層に於ける残留オーステナイト量が６容量％程度になると、衝撃荷重が大きい場合にも音響レベルの上昇量が少なくなる。そして、上記残留オーステナイト量が２容量％以下になると、音響レベルの上昇量が少なくなるだけでなく、音響レベルが上昇し始める衝撃荷重が十分に大きくなる。この事から、少なくとも表面層の残留オーステナイト量を少なく抑える事で軌道面の耐衝撃性が向上する事が分る。更に、残留オーステナイト量を０％とすれば、衝撃荷重によっても音響レベルが殆ど上昇しない。尚、表４には耐衝撃性を「×」「△」「○」「◎」で示した。各符号の意味は前記表２の場合と同様である。

【００５６】

次に、図１４～１５は、Ｃｒの含有率が耐食性に及ぼす影響に就いて行なった実験の結果を示している。Ｃｒの含有率が異なる合金として前記表３に記載した合金中から５種類の合金を選択使用した。使用した合金は、Ｃｒの含有率が低い方から順に、B_{13}、A_{17}、A_{20}、A_{18}、B_{11}である。耐食性試験を行なうに当たり、これら５種類の合金でそれぞれ１０個ずつ、合計５０個の試験片を造り、耐食性試験に先立って前記表４に示した処理を施した後研磨仕上げを行ない、表面を脱脂した。各試験片は、直径が１３㎜、厚さが５㎜の円板状である。これらの条件は、前述の二次硬化型の鋼を使用した発明の実施例の効果を確認する為に行なった実験のうちの、Ｃｒの含有率が耐食性に及ぼす影響に就いて行なった実験と同様である。

【００５７】

耐食性試験は、前述した(1)(2)の２種類の試験を行なった。

(1) ＪＩＳ Ｃ ００２８に規定している環境試験方法（電気・電子）温湿度組合せ（サイクル）試験方法。

この試験方法により温湿度サイクルを１０サイクル行なった後、上記各試験片の表面を目視により観察し、表面に錆が発生している割合を求め、図１４の縦軸の錆発生率として記載した。

(2) ＪＩＳ　Ｋ　２２４６に規定している湿潤箱試験。
この試験を１０００時間行なった後、上記各試験片の表面を目視により観察し、表面に錆が発生している割合を求め、図１５の縦軸の錆発生率として記載した。
【００５８】
これらの実験の結果を表した図１４～１５の記載から明らかな通り、温湿度組合せ試験方法の様な環境条件の下では、Ｃｒの含有率が５重量％未満になると、腐食が発生し易くなる。又、湿潤箱試験の様な、より厳しい環境条件の下では、Ｃｒの含有率が７重量％未満、更に厳しい条件では９重量％未満になると、腐食が発生し易くなる。この実験の結果から、ショットピーニングや深冷処理を用いた場合でも、Ｃｒの含有率を５重量％以上とすれば一般的な条件下では軌道輪の表面に錆が発生する事を防止でき、更にＣｒの含有率を７重量％以上にすれば、厳しい腐食条件の下でも、軌道輪の表面に錆が発生する事を防止できる事が分る。尚、表４には耐食性に就いて「×」「△」「○」「◎」の４段階に亙る評価を記載した。これら各符号の意味は前記表２の場合と同様である。
【００５９】
次に、図１６は、表面硬度が転がり疲れ寿命に及ぼす影響に就いて行なった実験の結果を表している。この実験も、前記二次硬化型の鋼を使用した発明の実施例の効果を確認する為に行なった実験に於ける、表面硬度が転がり疲れ寿命に及ぼす影響に就いて行なった実験と全く同様のものである。本実験に於いても、表３～４に示す各合金のうち、B_{11}、B_{12}、B_{14}、A_{14}～A_{16}、A_{18}～A_{20}により、それぞれ試験片となるスラスト軌道輪を造り、転がり疲れ寿命試験に先立って前記表４に示した各処理を施した後、スラスト玉軸受を組み立てた。そして、前記寿命試験機により、４９００MPa の面圧を付与して、上記９種類の試験片の転がり疲れ寿命を測定した。
【００６０】
この様な転がり疲れ寿命試験の結果を記載した図１６で、縦軸は表面硬度がH_RC ６０である試験片に対する寿命比（表面硬度がH_RC ６０である試験片の寿命を１とした場合に於ける当該試験片の寿命の割合）を表している。この図１６の記載から明らかな通り、転がり疲れ寿命は表面硬度に大きく影響され、表面硬度がH_RC ５５を越えてH_RC ６０付近まで、表面硬度が上昇する程転がり疲れ寿命が大きく延びる事が分る。
【００６１】
次に、図１７は、表面硬度が耐摩耗性に及ぼす影響に就いて行なった実験の結果を表している。この実験は、やはり前記図１０に示す様なサバン式摩耗試験機により行なった。実験条件は、前記二次硬化型の鋼を使用した発明の実施例の効果を確認する為に行なった実験のうちの、表面硬度が耐摩耗性に及ぼす影響に就いて行なった実験と同様であり、試験片１１、１２（図１０）を、表３～４に示した合金のうち、B_{11}、B_{12}、B_{14}、A_{14}～A_{16}、A_{19}の７種類の合金により造った。この図１７の記載から明らかな通り、耐摩耗性は表面硬度が向上する程高くなり、H_RC ５７以上あれば、十分な耐摩耗性を得る事ができる。
【００６２】
次に、残留オーステナイト量が音響特性の劣化に及ぼす影響を調べる為に行なった実験に就いて説明する。この実験に於いても、前述の二次硬化型の鋼を使用した発明の実施例の効果を確認する為に行なった実験のうちの、残留オーステナイト量が音響特性の劣化に及ぼす影響を調べる為に行なった実験と同様、表３～４に記載された１９種類の供試体（A_{10}～A_{20}、B_1 、B_2 、B_7 、B_{10}～B_{14}）のうち、表面層のγ_R が９容量％であるB_1 、B_{11}、表面層のγ_R が６容量％であるA_{15}、表面層のγ_R が２容量％であるA_{16}、A_{19}、表面層のγ_R が０％であるA_{10}～A_{12}、A_{14}、A_{17}～A_{18}、A_{20}、B_2 、B_{10}、B_{12}～B_{14}によってそれぞれ軌道輪を造り、この軌道輪を図１に示す様なスピンドルモータに組み込んでこのスピンドルモータを運転し、このスピンドルモータの運転継続に伴うアンデロン値の変化を、所定時間（１００時間及び３００時間）経過後に測定した。測定したアンデロン値のうちのMEDIUM BAND を図１８（Ａ）に、HIGH BAND を同図（Ｂ）に、それぞれ記載した。尚、図１８（Ａ）（Ｂ）で、丸で囲んだ数字で表した各曲線のうち、曲線

５は表面層のγ$_R$が９容量％である場合の、曲線６は表面層のγ$_R$が６容量％である場合の、曲線７は表面層のγ$_R$が２容量％である場合の、曲線８は表面層のγ$_R$が０％である場合の、それぞれ音響特性の劣化度合を表している。この図１８の記載から明らかな通り、γ$_R$が少なくなる程、音響特性を示すアンデロン値が劣化する（大きくなる）程度が少なくなる。言い換えれば、γ$_R$が少なくなる程、上記アンデロン値に影響を及ぼす表面精度の劣化度合いが少なくなる。又、ショットピーニングを施す事により表面精度の劣化度合いが少なくなる為、アンデロン値が劣化する程度も少なくなる。

【００６３】

上述した各実験から分かる様に、本発明により構成された転がり軸受は、十分な耐衝撃性を得られる。一方、本発明から外れる比較例B_1～B_{14}、A_1～A_3、A_5、A_{10}～A_{19}に於いては、表面層の残留オーステナイト量が２容量％よりも多くなったり（例えばB_1、B_{11}）、表面硬度がH_RＣ５５以下と低くなったり（例えばB_2、B_7、B_{10}、B_{12}）し、転がり寿命や耐摩耗性が低下し、軸受の機能が低下する。又、上記Ｃｒの含有量が本発明の範囲から外れる比較例B_9、B_{13}、A_2、A_{17}に於いては、表面硬度、表面層の残留オーステナイト量の何れもが本発明の範囲に属する。この為、本発明品と同等の性能を有すると思われるが、上記Ｃｒの含有量が少ない（１．４重量％、４．２重量％、６重量％及び５重量％）事に起因して発錆し易く、厳しい条件下では使用に堪えない。更に、上記Ｃの含有量が本発明の範囲から外れる比較例B_{14}に於いては、表面硬度が劣る（H_RＣ５６）為、やはり転がり寿命や耐摩耗性が低下し、軸受の機能が低下する。

【００６４】

次に、Ｃの含有率とＣｒの含有率とが一次炭化物の生成に及ぼす影響に就いて、図１９により説明する。一次炭化物の測定は、外径が１３㎜の鋼材の中心を通る長さ方向の断面に於いて、中心から１．６㎜の位置を任意に、合計３．５㎟に就いて観察を行ない、長径が１０μｍ以上の一次炭化物の有無を観察した。図１９には、複数種類の合金中のＣの含有率とＣｒの含有率とを、縦軸（Ｃの含有率）と横軸（Ｃｒの含有率）とで表している。この図１９中、三角印は本発明から外れる合金を、丸印は本発明に属する合金（但し、Ｃｒの含有率は５重量％以上とする。）を、それぞれ表している。尚、ここで『本発明に属する』とは、上記Ｃ及びＣｒに関する条件以外の条件も満たす事を言う。従って、上記Ｃ及びＣｒの含有率が所定の範囲に含まれていても、他の条件を満たしていなければその合金は『本発明から外れる』合金である。又、白抜きの印は長径が１０μｍ以上の一次炭化物が生成されなかったものを、黒塗りの印は長径が１０μｍ以上の一次炭化物が生成されたものを、それぞれ表している。この図１９から、Ｃの含有率とＣｒの含有率とが一次炭化物の生成に影響を及ぼす事、これら両元素の含有率を図１９の直線Ｙ（Ｃ＝１．２３－０．０３５Ｃｒ）よりも下側で選択すれば上記長径が１０μｍ以上の一次炭化物が生成されない事が分る。例えば、前記表１～２に示した供試体に就いては、A_1～A_6及びA_8が、表３～４に示した供試体に就いては、A_{11}～A_{12}、A_{17}～A_{20}が上記直線Ｙよりも下側に存在する為、巨大な一次炭化物は生成されず、好ましい。

【００６５】

尚、本発明の表面層硬化手段をなすショットピーニング処理により、表面から深さ０．２㎜程度までは、硬さの向上を図れると共に残留オーステナイト量の調整の効果を及ぼす事ができる。又、表面層を硬化させる為の手段としては、上記ショットピーニング処理の他、例えばタンブラ加工、バレル加工等、表面層の残留オーステナイトを分解する各種処理技術を採用できる。

【００６６】

【００６７】

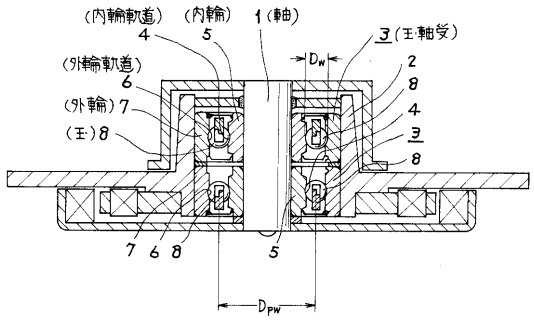
【発明の効果】

本発明の小型玉軸受及びその製造方法は、以上に述べた通り構成され作用するので、十分な耐食性を確保しつつ、耐圧痕性、転がり疲れ寿命、耐摩耗性を向上させる事ができる。そして、小型玉軸受を組み込んだＨＤＤ、ＶＴＲ等の音響性能、耐久性能を向上させて、これらＨＤＤ、ＶＴＲ等の性能向上を図れる。

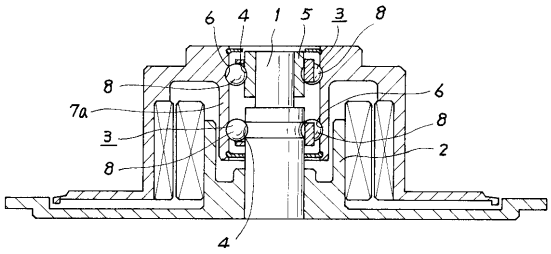
【図面の簡単な説明】
【図１】　本発明の対象となる小型玉軸受を組み込んだＨＤＤ用スピンドルモータの第１例を示す断面図。
【図２】　同第２例を示す断面図。
【図３】　同第３例を示す断面図。
【図４】　焼き戻し温度が、表面硬度及び残留オーステナイト量に及ぼす影響を示す線図。
【図５】　二次硬化型の鋼を使用する発明の実施例の効果を確認する為に行なった実験結果のうち、残留オーステナイト量が衝撃荷重に伴う音響レベルの劣化度合いに及ぼす影響を示す線図。
【図６】　同じくＣｒの含有率が、温湿度組合せ試験方法により求められる耐食性に及ぼす影響を示す線図。
【図７】　同じくＣｒの含有率が、湿潤箱試験により求められる耐食性に及ぼす影響を示す線図。
【図８】　同じく表面硬度が転がり疲れ寿命に及ぼす影響を示す線図。
【図９】　同じく表面硬度が耐摩耗性に及ぼす影響を示す線図。
【図１０】　同じく耐摩耗性を測定する為に使用した試験機の正面図。
【図１１】　同じく残留オーステナイト量が表面精度の経時的劣化に及ぼす影響を示す線図。
【図１２】　同じく残留オーステナイト量が音響特性の経時的劣化に及ぼす影響を示す線図。
【図１３】　ショットピーニングを使用する発明の実施例の効果を確認する為に行なった実験結果のうち、残留オーステナイト量が衝撃荷重に伴う音響レベルの劣化度合いに及ぼす影響を示す線図。
【図１４】　同じくＣｒの含有率が、温湿度組合せ試験方法により求められる耐食性に及ぼす影響を示す線図。
【図１５】　同じくＣｒの含有率が、湿潤箱試験により求められる耐食性に及ぼす影響を示す線図。
【図１６】　同じく表面硬度が転がり疲れ寿命に及ぼす影響を示す線図。
【図１７】　同じく表面硬度が耐摩耗性に及ぼす影響を示す線図。
【図１８】　同じく残留オーステナイト量が音響特性の経時的劣化に及ぼす影響を示す線図。
【図１９】　Ｃの含有率とＣｒの含有率とが一次炭化物の生成に及ぼす影響を示す線図。
【図２０】　本発明の対象となる小型玉軸受を組み込んだＨＤＤ用スピンドルモータ及びスイングアームの１例を示す断面図。
【符号の説明】
１　軸
２　ハウジング
３　玉軸受
４　内輪軌道
５　内輪
６　外輪軌道
７、７ａ、７ｂ　外輪
８　玉
９　荷重用錘
１０　バランス用錘
１１　固定試験片
１２　回転試験片
１３　スイングアーム
１４　スピンドルモータ

１５　ハブ
１６　磁気ディスク
１７　軸

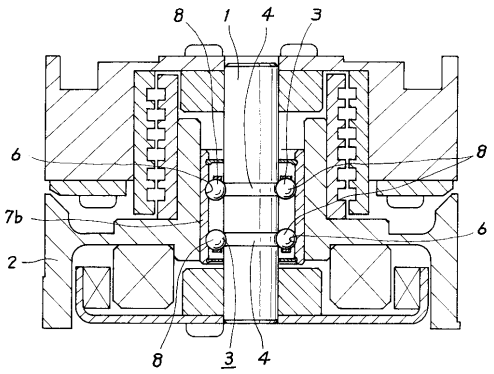
【図１】



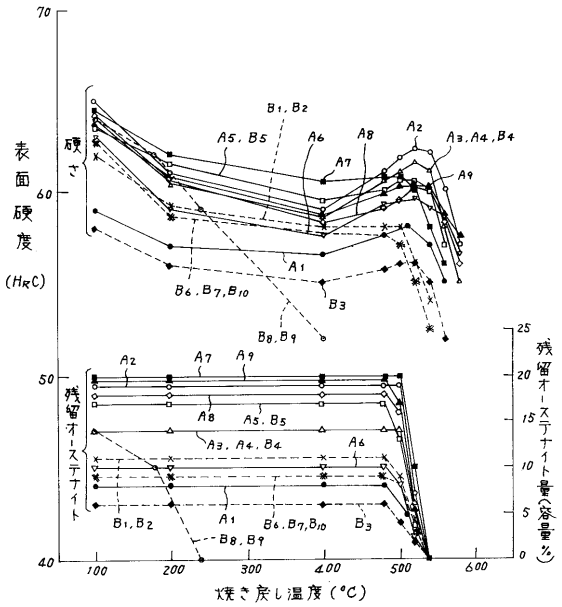
【図２】



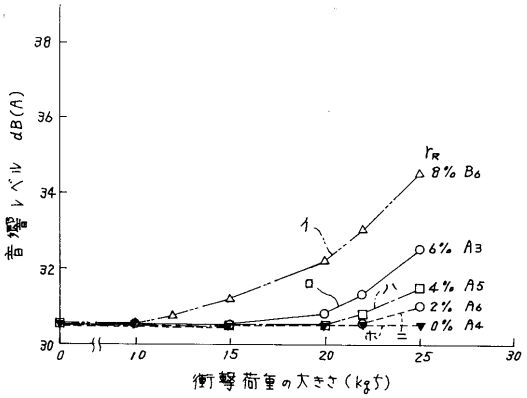
【図３】



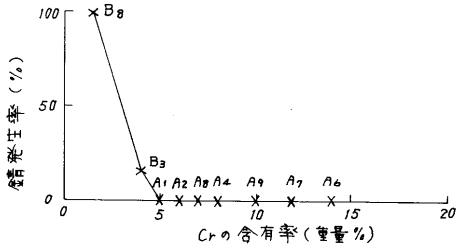
【図４】



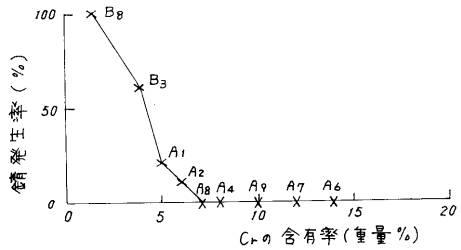
【図５】



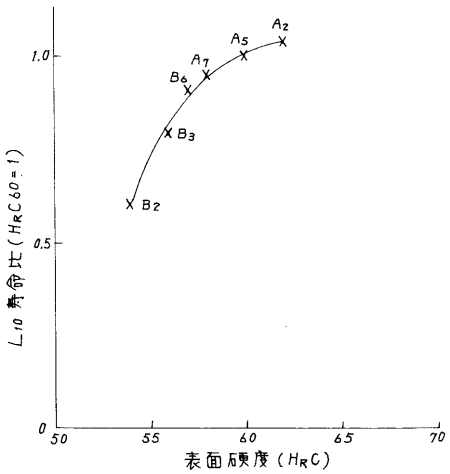
【図６】



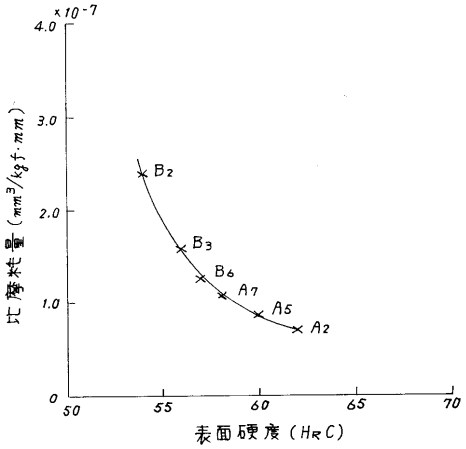
【図７】



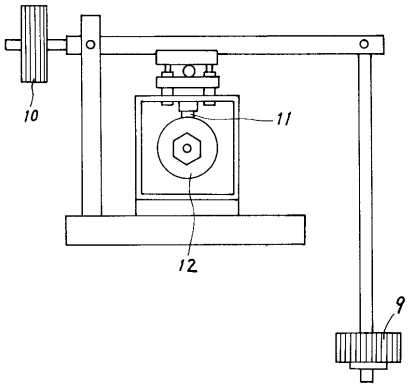
【図８】



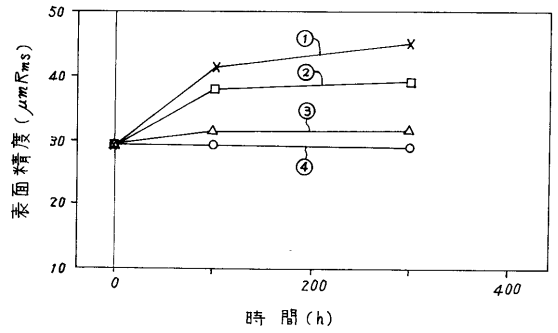
【図９】



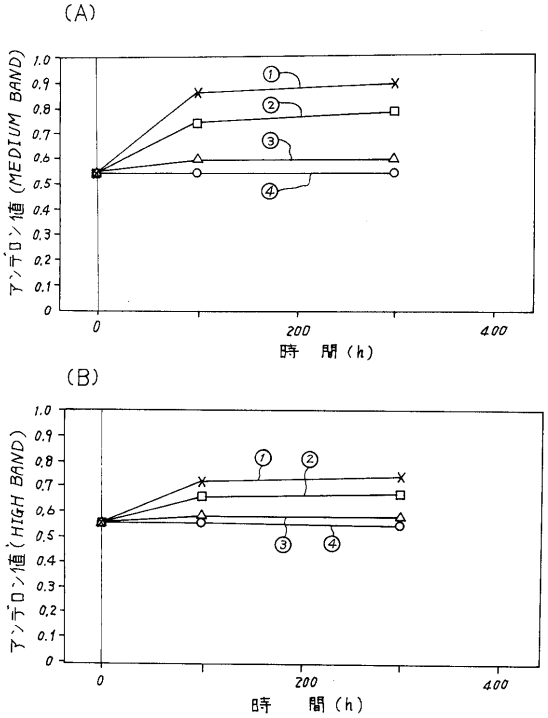
【図１０】



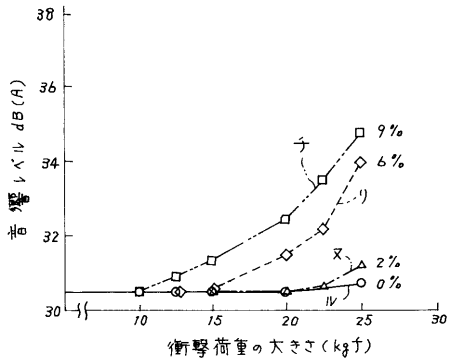
【図１１】



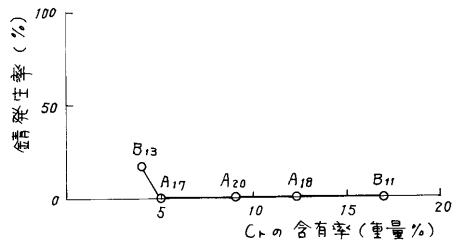
【図１２】



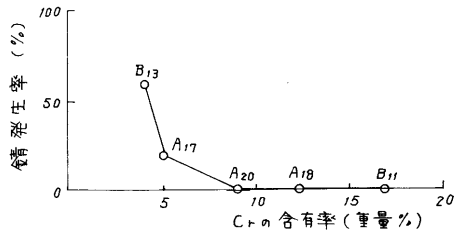
【図１３】



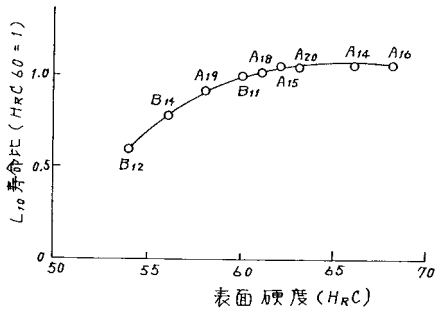
【図１４】



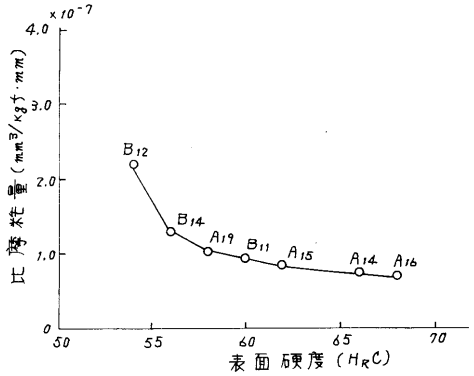
【図１５】



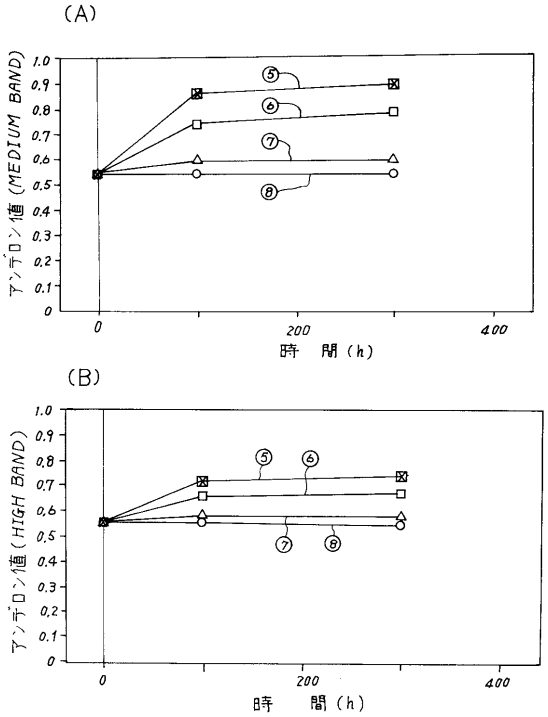
【図１６】



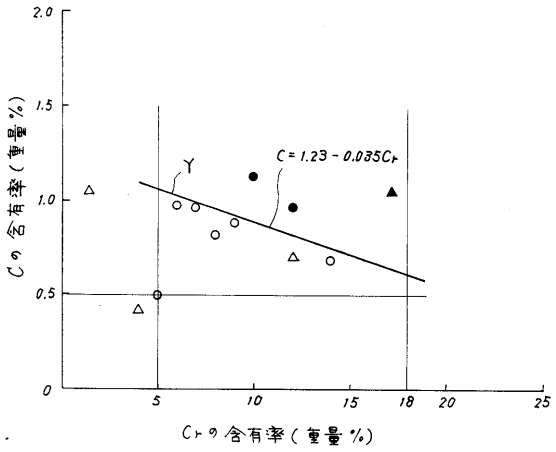
【図１７】



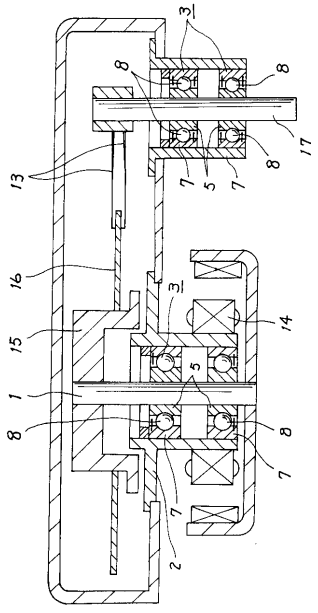
【図１８】



【図１９】



【図２０】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ＦＩ
Ｃ２２Ｃ 38/24 (2006.01) Ｃ２２Ｃ 38/24

(56)参考文献 特開平０４－００９４４９（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２３９５９２（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－０８２７３６（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１９５０６９（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－１６３２４４（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－３０８２１８（ＪＰ，Ａ）
「転がり軸受と残留オーステナイト」，熱処理，日本熱処理技術協会，１９７７年 ８月，１７巻／４号，Ｐ２３１－２３５

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
F16C 33/62
C22C 38/00
C22C 38/22
C22C 38/24
F16C 33/64
G11B 19/20