

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101228362 B

(45) 授权公告日 2012. 01. 18

(21) 申请号 200680026538. 3

代理人 张兆东

(22) 申请日 2006. 10. 26

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

F16C 33/62 (2006. 01)

F16C 19/06 (2006. 01)

312160/2005 2005. 10. 27 JP

018631/2006 2006. 01. 27 JP

163439/2006 2006. 06. 13 JP

168605/2006 2006. 06. 19 JP

194060/2006 2006. 07. 14 JP

213136/2006 2006. 08. 04 JP

(56) 对比文件

JP 55-10111 A, 1980. 01. 24, 全文.

JP 64-38320 U, 1989. 03. 07, 全文.

JP 2005-133876 A, 2005. 05. 26, 权利要求第 1-4 项、说明书第 12-24 段、附图 1-2.

JP 2002-48145 A, 2002. 02. 15, 全文.

JP 2624337 B2, 1997. 04. 11, 全文.

JP 2005-42895 A, 2005. 02. 17, 全文.

JP 6-43350 U, 1994. 06. 07, 全文.

JP 10-246238 A, 1998. 09. 14, 全文.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

2008. 01. 21

(86) PCT 申请的申请数据

PCT/JP2006/321434 2006. 10. 26

(87) PCT 申请的公布数据

W02007/049727 JA 2007. 05. 03

审查员 朱艳香

(73) 专利权人 日本精工株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 今野胜广 小泷贤司 村井隆司

藤井修 渡边哲雄 松下贵之

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

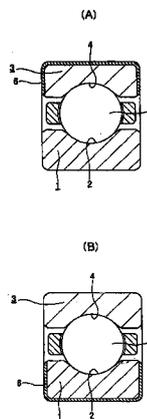
权利要求书 1 页 说明书 36 页 附图 30 页

(54) 发明名称

防电解侵蚀的绝缘滚动轴承、其制造方法以及轴承装置

(57) 摘要

本发明的目的在于一并高水平地确保绝缘性、低成本以及良好的外观。构成绝缘涂覆膜 (6) 的陶瓷 (即陶瓷喷镀层) 包括作为主成分的氧化铝, 还含有 0. 01-0. 2 重量%的氧化钛。形成喷镀层的陶瓷的颗粒直径为 10-50 μ m 且平均颗粒直径为 15-25 μ m。通过减少氧化钛含量, 可减小绝缘涂覆膜 (6) 的厚度。通过控制颗粒尺寸, 可提高膜厚精度并以更简单的方式进行精加工。此外, 通过添加氧化钛, 可防止密封处理之后的外观劣化。



1. 一种防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,包括一对彼此同心定位的金属轴承环、一对形成在两轴承环的对向面上的轨道面、以及多个设于轨道面之间以致可自由滚动的金属滚动元件,其中,陶瓷绝缘涂层涂覆在两轴承环的至少一个轴承环的除了设置有轨道面的表面之外的表面上,

其中,所述绝缘涂层还涂覆在四分之一圆横截面的内径侧连续折叠部的表面上,该表面连接两端面的内周缘和外环内周面的两轴向边缘,在所述外环内周面上,所述轨道面由涂覆有陶瓷绝缘涂层的所述至少一个轴承环形成,

其中,绝缘涂层是氧化铝含量为 99 重量%以上并且氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%的陶瓷喷镀层,并且

其中,构成所述陶瓷喷镀层的氧化铝的颗粒尺寸为 10 至 50  $\mu\text{m}$ ,并且平均的颗粒尺寸为 15 至 25  $\mu\text{m}$ 。

## 防电解侵蚀的绝缘滚动轴承、其制造方法以及轴承装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种防电解侵蚀的绝缘滚动轴承及其制造方法。该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承装在可能流入电流的旋转支承部中,比如一般工业的通用电动机、发电机(风力机等发电机)、轨道车的主电动机或医疗装置(CT扫描仪等)的旋转轴。具体而言,本发明涉及一种大型的外径为 200mm 以上的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承。

[0002] 此外,本发明是一种轴承装置,其构成一般工业的通用电动机、发电机(风力机等发电机)、轨道车的主电动机或医疗装置(CT扫描仪等)的旋转支承部。具体而言,本发明涉及一种装在变换器控制的电动机或发电机中的轴承装置。

### 背景技术

[0003] 在支承用于比如电动机、发电机等电子设备范围内的旋转轴的滚动轴承的情况下,如果不采取对策,比如回流、电动机轴电流等的电流流入滚动轴承自身中。在电流流入滚动轴承中的情况下,就会出现所谓的电解侵蚀,由此侵蚀就会发展到用作电流通道的部分中,从而明显缩短了滚动轴承的寿命。通常,为了防止这样的电解侵蚀出现,已了解到一种防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,其通过在滚动轴承内外环表面上形成绝缘涂层而防止电流流入滚动轴承中,正如在专利文献 1 至 3 和 8 至 10 中披露的那样。

[0004] 各篇专利文献中披露的绝缘滚动轴承是这样产生的,即,在与配合部件相配且由其支承并例如构造成图 34 所示的滚动轴承的轴承环部分上形成比如陶瓷、合成树脂等的绝缘涂层。滚动轴承在形成于内环 1 外周面中的内环轨道 2 与形成于外环内周面中的外环轨道 4 之间设有多个滚动元件 5,其能让内环 1 和外环 3 彼此相对旋转。作为陶瓷喷镀层的绝缘涂层 6 形成在外环 3 的外周面和两轴向端面上。在这样的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,在外环 3 装配在金属壳体内并由其支承的状态下,绝缘涂层 6 使外环 3 与壳体绝缘。因此,电流不在外环 3 与壳体之间流动,从而防止在滚动轴承的各个部件 1、3 和 5 中出现上述的电解侵蚀。

[0005] 不过,在已知传统的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承(上述专利文献 1 至 3 中披露的)的情况下,难于同时确保高水平的绝缘性、耐久性以及低成本。原因如下。例如,在作为陶瓷喷镀层的绝缘涂层 6 通过沿着外环 3 的外周面 7 移动喷嘴而形成在外环 3 的表面上,陶瓷喷镀层形成在外周面 7 上,并且,通过沿着外环 3 的两轴向端面 8 移动喷嘴,陶瓷喷镀层形成在两轴向端面 8 上。就按此方式形成的陶瓷喷镀层来说,按照惯例,厚度尺寸为 0.5mm 以上(一般约 0.6-0.7mm)的陶瓷喷镀层是通过喷涂氧化铝( $Al_2O_3$ )含量为 94-95 重量%的陶瓷材料微滴而形成的。

[0006] 由于陶瓷喷镀层形成在如上所述的表面 7 和 8 上,自两喷嘴喷涂的陶瓷附着在位于两轴向端面 8 与外周面 7 之间的连续折叠部 9 上。因此,连续折叠部 9 的厚度尺寸大于外周面 7 和两轴向端面 8 的厚度尺寸。因此,如果表面 7 和 8 的厚度尺寸是从维持绝缘性方面考虑的足够大的值,两连续折叠部 9 的厚度尺寸变得过大。陶瓷喷镀层发脆,这样如果厚度尺寸变得过大,就可能出现诸如裂纹、碎屑等的损伤。由于连续折叠部 9 自身不与比如壳体

等的其它部分接触,即便陶瓷喷镀层受损,也不太可能产生维持绝缘性方面的问题。不过,在陶瓷破裂碎片下落并进入滚动轴承内侧的情况下,可能在内环轨道 2、外环轨道 4 的表面等或各滚动元件 5 的滚动接触表面上产生形成凹痕的损伤,这是不理想的。因此,通常,还通过研磨来减小覆盖连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层部分的厚度尺寸。研磨连续折叠部 9 表面部分增加了成本,无效益可言。

[0007] 此外,按照常规,专利文献 4 和 5 中披露的发明提到旨在防止陶瓷绝缘涂层受损的技术。专利文献 4 中披露的发明通过给陶瓷绝缘涂层浸渍合成树脂而改善了绝缘涂层的粗糙度。此外,专利文献 5 中披露的发明通过给陶瓷绝缘涂层覆盖上金属层而防止了陶瓷喷镀层折断。不过,在专利文献 4 和 5 披露的发明情况下,制造困难,没有一个能实现低成本。

[0008] 另一方面,专利文献 6 披露了一种涉及具有氧化钛 ( $\text{TiO}_2$ ) 含量为 1 重量%以下的灰色氧化铝绝缘涂层的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承。正如在专利文献 6 中披露的,在仅考虑绝缘涂层的性能维持(绝缘电阻值维持)的情况下,作为不含氧化钛的纯氧化铝的白色氧化铝优于含氧化钛的灰色氧化铝。不过,正如在专利文献 6 中披露的,在白色氧化铝的情况下,喷镀层形成时的材料产量(氧化铝颗粒)少,从而增大了成本。因此,在专利文献 6 中披露的发明情况下,通过采用具有上述成分的灰色氧化铝,在维持绝缘性的同时控制了成本增加。

[0009] 不过,根据本发明人所做的试验,发现:具有专利文献 6 中披露的成分的灰色氧化铝并不总是维持充分大的绝缘性。另一方面,在使用白色氧化铝的情况下,发现:如果喷涂的氧化铝的粒径控制适当,尽管限制了成本增加的量,但还是会在表面上出现不规则的着色,从而降低了产品外观。也就是说,氧化铝喷镀层的内部在其正常条件下具有微小空隙,并且在水分进入空隙中的情况下,绝缘性变差。因此,在形成了氧化铝喷镀层之后,正如在专利文献 7 中披露的,需要进行密封,由此给上述空隙覆盖合成树脂,于是就防止水分进入空隙中。在采用白色氧化铝形成喷镀层的情况下,伴随着合成树脂的密封,喷镀层的表面上出现不规则着色。这样不规则的着色不是绝缘性方面的问题,但由于它降低了产品外观,因此是不理想的。

[0010] 另一方面,如图 35 和 36 所示,存在作为密封装置的密封圈 10 或屏蔽板 11 设于滚动轴承中的结构。在图 35 所示结构的情况下,密封圈 10 是通过利用金属芯 12 强化比如橡胶等的弹性材料 13 而形成的。两密封圈 10 的外周缘装在形成于外环 3a 两端的内周面中的配合沟 14 内,并且,两密封圈 10 的内周缘被压至绕着整个圆周与内环 1a 两端的外周面的部分滑动接触。此外,在图 36 所示结构的情况下,屏蔽板 11 是通过大致成圆形的金属板形成的,并且,外周缘装入形成于外环 3a 两端的内周面中的配合沟 14 中,并且,内周缘靠近内环 1a 两端的外周面。在图 35 和 36 所示的结构的情况下,通过提供密封圈 10 或屏蔽板 11,外环 3a 与内环 1a 之间安装各个滚动元件 5 的空间与外部环境隔离。

[0011] 迄今为止,在图 35 和 36 所示的上述结构中形成图 34 所示的上述绝缘涂层 6 的情况下,配合沟 14 没有覆盖绝缘涂层 6,如图 37 所示。因此,如图 38 所示,在外环 3a 装在形成旋转支承部的金属壳体 15 中以致壳体 15 的部分和两配合沟 14 相邻的状态下,没有覆盖绝缘涂层 6 的配合沟 14 的表面与壳体 15 部分表面之间的距离变小。在此情况下,可能在壳体 15 部分的表面与两配合沟 14 之间出现放电现象。尤其是,在电位差大(例如为 1500V 以上)的情况下,这样的放电现象可能会出现。如果出现放电现象,电流流入滚动轴承中且

存在出现上述电解侵蚀的可能性。

[0012] 此外,近几年来,为了改善密封,已将碳黑或二氧化硅添加到装入两配合沟 14 中的密封圈 10 的弹性材料 13 中。例如,将碳黑添加到作为弹性材料 13 的丙烯腈-丁二烯橡胶等中以提高摩擦性、耐磨性以及耐热性。不过,由于碳黑是导电的,在配合沟 14 如上所述没有被绝缘涂层 6 覆盖的情况下,电流容易自两配合沟 14 流过两密封圈 10。

[0013] 另外,在金属屏蔽板 11 装入两配合沟 14 中的情况下,由于两屏蔽板 11 的内周缘靠近内环 1a 两端的外周面,就会要求电流容易流过两屏蔽板 11。按此方式,在电流流过密封圈 10 或屏蔽板 11 的情况下,电解侵蚀就可能出现在密封圈 10 的内周缘或屏蔽板 11 的内周缘与内环 1a 两端的外周面之间。在电解侵蚀出现在这些位置上的情况下,密封性变差,从而导致滚动轴承的寿命缩短。

[0014] 此外,在密封圈 10 或屏蔽板 11 如上所述都导电的情况下,可能在壳体 15 与密封圈 10 或屏蔽板 11 之间出现放电现象。在出现此种放电现象的情况下,电流不仅在密封圈 10 或屏蔽板 11 与内环 1a 之间流动,还流过配合沟 14 到达外环 3a 的侧面。因此,即便在外环 3a、滚动元件 5 以及内环 1a 的部件中也可能出现上述电解侵蚀。

[0015] 另外,为了防止如上所述的电解侵蚀,迄今为止,已知一种将由绝缘性优良的合成树脂制成的绝缘涂层形成在外环的外周面或内环的内周面(都是与壳体或轴相配的表面)上的技术。就绝缘性优良的合成树脂来说,例如推荐聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)、聚酰胺 66(PA66)、聚酰胺 6(PA6)等。不过,它们当中的 PA66 和 PA6 具有较高的吸水性,且其尺寸可通过从空气中吸收水分容易地改变。因此,它们不是涂覆轴承装置配合面的必须精确的理想材料。此外,上述 PBT 的耐热性或强度有时不足,这样必然不能成为涂覆分界面的理想材料。

[0016] 相应地,例如在专利文献 11 中,披露了一种将含玻璃纤维的聚苯硫醚(PPS)用作形成绝缘涂层的材料的技术。也就是说,如图 39 所示,由含玻璃纤维的 PPS 制成的绝缘涂层 17 形成在构成滚动轴承 16 的金属外环 3b 的外周面和两端面以及金属内环 1b 的内周面和两端面上。图中示出的滚动轴承 16 为深沟滚珠轴承,且因此,在形成于外环 3b 内周面内的外环轨道 4 与形成于内环 1b 外周面内的内环轨道 2 之间设有多个金属滚珠 18。在按此方式构造的滚动轴承 16 中,外环 3b 经由绝缘涂层 17 装配在金属壳体 15a 内,而内环 1b 同样经由绝缘涂层 17 装配在图中未示出的金属轴外部。因此,就可防止电流流入滚动轴承 16 中,由此防止电解侵蚀。

[0017] 此外,通过将如上所述由玻璃纤维强化的 PPS 用作绝缘涂层 17,可解决比如上述的因吸水尺寸变化和耐热性及强度不足的一类问题。不过,如上所述的合成树脂材料的线膨胀系数大于比如轴承钢的金属的线膨胀系数,金属是滚动轴承的轴承环、壳体、轴等的材料。因此,就容易因旋转支承部中产生的热量而变形。

[0018] 相应地,专利文献 6、12 和 13 都披露了一种技术,即,线膨胀系数小的陶瓷绝缘涂层形成在外环的外周面和两端面上。在专利文献 12 披露的结构情况下,如图 40 所示,陶瓷绝缘涂层 17a 形成在外金属环 3c 的外周面和两端面上,且绝缘涂层 17a 覆盖有金属层 19。图中示出的滚动轴承 16a 是圆筒形滚柱轴承。因此,凸缘部 20 形成在外环 3c 两端的内周面上,且圆筒形外环轨道 4a 形成在位于两凸缘部 20 之间的外环 3c 中央部的内周面上。此外,圆筒形内环轨道 2a 形成在内金属环 1c 中央部的外周面上。多个圆筒形金属辊 21 设于

外环轨道 4a 与内环轨道 2a 之间。

[0019] 在上述构造的滚动轴承 16a 的情况下,由于绝缘涂层 17a 是由线膨胀系数小的陶瓷制成的,就可抑制因热造成的变形。此外,由于绝缘涂层 17a 覆盖有金属层 19,当外环 3c 通过过盈配合装配在比如壳体等的配合部件内时,可防止绝缘涂层 17a 剥离。不过,在具有该结构的专利文献 12 披露的结构情况下,制造成本成比例地增加以形成金属层 19。此外,专利文献 13 披露了一种结构,即,第一金属层设于外环的外周面和两端面上,绝缘涂层设于第一金属层上,另外,第二金属层设于绝缘涂层上。在专利文献 13 披露的结构情况下,必然也会增加成本。

[0020] 顺便要说的,装入设有上述绝缘涂层的滚动轴承的电动机或发电机一般是变换器控制的。此外,近几年来,为了减少切换时的噪音,已经有增大变换器的载波频率的趋势。因此,流入滚动轴承中的电流变得频率高。因此,要求绝缘涂层具有高阻抗(高绝缘电阻值)。随着电容(C)的增大,阻抗变小(或随着C的减小而增大),正如从下列方程式中明显看出的一样。

[0021] [方程式 1]

$$[0022] \quad |Z| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + (2\pi fC)^2}}$$

[0023] |Z| : 阻抗 ( $\Omega$ )

[0024] R : 电阻 ( $\Omega$ )

[0025] f : 频率 (Hz)

[0026] C : 电容 (F)

[0027] 因此,为了增大阻抗 |Z|,需减小电容 C。该电容 C 与面积 (A) 成正比,正如从下列方程式中明显看出的一样。

[0028] [方程式 2]

$$[0029] \quad C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{S}$$

[0030]  $\varepsilon_0$  : 真空介电常数 ( $8.854 \times 10^{-12}$  F/m)

[0031]  $\varepsilon_r$  : 相对介电常数

[0032] A : 面积 ( $m^2$ )

[0033] S : 距离 (m)

[0034] 因此,在绝缘涂层的厚度(距离 S)恒定的情况下,面积 A 越小,电容越小。因此,在将厚度相同的绝缘涂层施涂在轴承尺寸不同的滚动轴承上的情况下,轴承尺寸较大(表面积较大)的滚动轴承的电容大于轴承尺寸较小的滚动轴承的电容。因此,为了增大施涂在轴承尺寸较大的滚动轴承上的绝缘涂层的阻抗,需增加绝缘涂层的厚度。不过,如果膜厚增加,材料成本也增大。尤其是,在绝缘涂层由陶瓷喷镀层制成的情况下,喷涂操作的持续时间增大,这也导致成本增加。

[0035] 专利文献 6 披露了一种陶瓷绝缘涂层仅由一个直接形成在材料表面上的层构成的结构。不过,在将专利文献 6 中披露的结构用于大型滚动轴承的情况下,可能不会总能获得足够大的绝缘性。原因在于,专利文献 6 中披露的结构情况着眼于外径约为 120-170mm 的滚动轴承,外径为 200mm 以上的大型滚动轴承不予考虑。如上所述,在绝缘涂层形成于大

型滚动轴承的外环上的情况下,膜厚必须随着表面积的增加而增大。不过,如果增大的膜厚大于或等于某值,就不会总能得到与成本增加成比例的良好绝缘性。因此,在考虑材料成本和喷涂操作持续时间的情况下,根据绝缘涂覆材料的质量,有时难于获得绝缘性足够大的绝缘涂层。

[0036] 此外,在陶瓷绝缘涂层形成于滚动轴承上的情况下,多数都是形成于外环侧上。原因在于,在通过喷涂形成陶瓷绝缘涂层的情况下,对于外周面和两端面是要喷涂的表面的外环,喷嘴可位于部件外侧,从而提高了可制造性。另外,在将滚动轴承装于旋转支承部中的情况下,多数情况下的内环和轴通过过盈配合装配在一起,而外环和壳体通过间隙配合装配在一起。不过,在发脆的陶瓷绝缘涂层过盈配合地形成于内环的内周面上的情况下,可能会在绝缘涂层中出现裂纹或碎屑。因此,为了防止绝缘涂层中出现此类裂纹或碎屑,在多数情况下,陶瓷绝缘涂层形成于外环侧上。

[0037] 不过,外环的外周面和两端面的表面积之和大于内环的内周面和两端面的表面积之和,于是在将绝缘涂层形成于外环侧上的情况下,从上述有关电容和面积的方程式中,需增大膜厚以便于减小电容。相应地,可考虑一种陶瓷绝缘涂层形成在内环内周面上的结构,内环和轴通过间隙配合装配在一起,并且,通过配合面形状的设计或使用夹具等防止配合面之间的差异。不过,由于内环与轴之间发生蠕变,这样的做法不现实。此外,专利文献 6 披露了一种控制氧化钛在陶瓷内的所含比例的结构。在专利文献 6 披露的结构情况下,氧化钛含量调整到 0.25-0.75 重量%。不过,在氧化钛比例这么多地增加的情况下,可能确保不了足够大的阻抗。

[0038] 专利文献 14 至 16 是披露了本发明相关技术的文献。专利文献 14 和 15 披露了轴承的尺寸即便在高温下也保持稳定的技术。此外,专利文献 16 披露了内环由陶瓷制成的例子和内环与轴之间的过盈量得到调整的技术。

[0039] 另一方面,在已知传统的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承(披露在上述专利文献 1 至 3 中)的情况下,本发明人的研究表明,在粗加工条件下,比如弄薄绝缘涂层 6(参见图 34) 以便降低成本的情况,防电解侵蚀方面有所改进。例如,在专利文献 1 和 2 披露的传统结构情况下,作为涂覆轴承环的外环 3(参见图 34) 的轴向端面和作为轨道侧周面的外环 3 内周面的连续部 22 如图 41 详细示出的那样相交。也就是说,连续部 22 是角度为 90 度的顶点。不过,在专利文献 3 中披露的传统结构情况下,如图 42 所示,相对于外环 3 的中心轴倾斜 45 度的部分锥形凹陷倒角 23 形成在外环 3 内周面和轴向端面的连续部。倒角 23 的外周缘与轴向端面之间的连续部 22a 是角度为 135 度的顶点。

[0040] 如上所述,在图 41 所示或图 42 所示的结构中,连续部 22 和 22a 是顶点。在电流流动于外环 3 与壳体 15b 之间(参见图 42) 的情况下,电流趋于集中在连续部 22 和 22a。因此,包括本发明人一系列试验的研究表明,即便在用于通用电动机或轨道车电动机的旋转轴或发电机的旋转轴的旋转支承部的情况下,连续部 22、22a 与壳体 15b 之间发生火花。也就是说,在本发明人为理解弄薄绝缘涂层的影响所作的研究过程中发现(其在先前不是公知的),连续部 22、22a 与壳体 15b 之间发生火花。

[0041] 通过增大涂覆连续部 22、22a 的绝缘涂层 6 的厚度,可在一定范围内防止这样的火花。例如,在将防电解侵蚀的绝缘滚动轴承用于上述电动机或发电机的旋转支承部中的情况下,如果厚度超过 0.3mm,可程度相当大地防止火花。此外,如果厚度超过 0.5mm,可防止

大部分的火花。不过,为了增大厚度,需要多次进行涂覆绝缘涂层 6 的操作(多层涂覆),从而导致防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的制造成本增加,这是不理想的。另外,如果壳体 15b 或连续部 22 和 22a 面向的外环间隔物由绝缘材料制成,可全面防止火花的发生。不过,从强度或成本的方面看,在大多数情况下,由绝缘材料制成壳体 15b 或外环间隔物是困难的。

[0042] 此外,在构成滚动轴承的内环 1 或外环 3 的表面部分上,记上表示装有内环 1 或外环 3 的滚动轴承的性能、产品号、批号等的字符或参考符号是常规做法。在典型的滚动轴承的情况下,如图 43 所示,按照惯例,字符或参考符号(图中表示为“\*\*\*\*001”的部分)是采用激光标识器、空气标识器(由压缩空气旋转的微小钻头状切割工具)或冲模记上的,正如专利文献 17 中披露的。此外,专利文献 18 披露了外环的组装方向是采用刻写线等标示在外环部分上的。

[0043] 即便将如图 43 所示的内环 1 或外环 3 的轴向端面上写有字符或参考符号的结构用在如图 34 所示的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,也存在字符或符号被覆盖从而防止它们被区分的可能性。此外,即便它们能被区分,因标识产生的边缘(顶点)可能成为放电的起点,并且,在发生放电的情况下,在滚动轴承中产生因电解侵蚀带来的损伤。

[0044] [专利文献 1] 特开平 1-182621 号公报

[0045] [专利文献 2] 特开平 5-52223 号公报

[0046] [专利文献 3] 特开平 5-312216 号公报

[0047] [专利文献 4] 实开昭 60-85626 号公报

[0048] [专利文献 5] 实公平 6-2030 号公报

[0049] [专利文献 6] 特开 2005-133876 号公报

[0050] [专利文献 7] 特开 2003-183806 号公报

[0051] [专利文献 8] 特许第 2571594 号公报

[0052] [专利文献 9] 特许第 3009516 号公报

[0053] [专利文献 10] 特开平 7-279972 号公报

[0054] [专利文献 11] 特许第 2779251 号公报

[0055] [专利文献 12] 特开 2002-48145 号公报

[0056] [专利文献 13] 特开 2002-181054 号公报

[0057] [专利文献 14] 特许第 3475497 号公报

[0058] [专利文献 15] 特许第 2624337 号公报

[0059] [专利文献 16] 特许第 2617300 号公报

[0060] [专利文献 17] 特开 2005-42895 号公报(段落 0003)

[0061] [专利文献 18] 特开 2005-214348 号公报(段落 0040)

## 发明内容

[0062] [本发明要解决的技术问题]

[0063] 本发明是考虑了上述情形而做出的,以便于实现:

[0064] 可同时确保高水平的绝缘性、耐久性以及低成本,还具有良好外观的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承及其制造方法,

[0065] 此外,实现一种结构,即,在滚动轴承装于旋转支承部的情况下,可防止在配合沟

与装入形成配合沟的轴承环的配合部件之间出现放电现象,并且,在将导电弹性材料用作密封圈或使用金属屏蔽板的情况下,通过不让电流在密封圈或屏蔽板与一个轴承环或两个轴承环之间流动的配置,可防止在作为重要部分的各轨道表面与各滚动元件之间的滚动接触部出现电解侵蚀,

[0066] 另外,实现一种这样的结构,即,即便在陶瓷绝缘涂层形成于大型滚动轴承的外环上的情况下,仍能确保绝缘涂层足够大的绝缘性,

[0067] 再有,实现一种这样的结构,即,陶瓷绝缘涂层形成在与金属配合部件相接触的轴承环表面部分上,其价格便宜且具有高阻抗(绝缘电阻值),

[0068] 此外,实现一种低成本的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,其可充分有效地防止电解侵蚀,即便在粗加工条件下,

[0069] 另外,还实现这样一种防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,即,防电解侵蚀性不会降低,不管表示性能或历史信息的字符或参考符号的标识如何。

[0070] [解决问题的技术手段]

[0071] 如图 1 所示,防电解侵蚀的绝缘滚动轴承包括一对彼此同心定位的金属轴承环(例如内环 1 和外环 3),和多个金属滚动元件(例如滚珠)5,其设于一对形成在两轴承环 1 和 3 的对向面上的轨道面(例如内环轨道 2 和外环轨道 4)之间,这样它们就可自由滚动。涂覆有陶瓷绝缘涂层 6 的表面不同于两个轴承环 1 和 3 的至少一个轴承环的设有轨道面的表面,也即,在图 1(A) 或 (B) 所示的径向滚动轴承的情况下的周面和两轴向端面中的任一个,和在止推滚动轴承情况下的轴向侧和内外周面中的任一个。

[0072] 尤其是,在第一方面的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承中,形成绝缘涂层 6 的陶瓷含有 99 重量%以上的氧化铝( $Al_2O_3$ )。此外,绝缘涂层 6 是这样形成的,即,研磨形成在除了那些形成有两轨道 2 和 4 的表面之外的表面上的陶瓷喷镀层表面。另外,陶瓷喷镀层的厚度为 0.4mm 以下,除了相邻表面之间的连续折叠部外,并且,研磨陶瓷喷镀层而获得的绝缘涂层的厚度为 0.25mm 以上。

[0073] 此外,优选绝缘涂层是由氧化钛( $TiO_2$ )含量为 0.01-0.2 重量%的氧化铝喷镀层形成的(除了氧化钛之外的主成分是氧化铝)。

[0074] 另外,优选绝缘涂层 6 是由氧化铝( $Al_2O_3$ )含量为 97 重量%以上且氧化锆( $ZrO_2$ )含量为 0.5-2.5 重量%的陶瓷喷镀层形成的。

[0075] 在绝缘涂层 6 是由陶瓷喷镀层形成的情况下,优选绝缘涂层 6 是通过研磨形成在除了轨道面之外的表面上的陶瓷喷镀层的表面而形成的。在此情况下,陶瓷喷镀层的厚度为 0.4mm 以下,除了相邻表面之间的连续折叠部外,并且,研磨陶瓷喷镀层而获得的绝缘涂层的厚度为 0.25mm 以上。

[0076] 此外,就绝缘涂层厚度的控制方法来说,例如已知下列方法。也就是说,氧化铝含量为 97 重量%以上且氧化锆含量为 0.5-2.5 重量%的陶瓷喷镀层形成在除了设有轨道面之外的表面上,其中除了相邻表面之间连续折叠部之外的部分的厚度限定在 0.4mm 以下。之后,通过研磨除了涂覆折叠部的部分之外的陶瓷喷镀层部分,产生厚度为 0.25mm 以上的绝缘涂层。

[0077] 另外,根据另一方面的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承具有一对轴承环、多个滚动元件以及一密封装置。

[0078] 这里,轴承环彼此同心地定位且由金属制成。

[0079] 此外,滚动元件由金属制成,并设在两轴承环对向面上的那对轨道面之间,于是它们可自由滚动。

[0080] 另外,密封装置装配于形成有轨道面的两轴承环之一的一部分的两端的表面中形成的配合沟中,并使安装滚动元件的位置与外部隔离。

[0081] 具备绝缘特性的薄膜涂覆在两轴承环至少一个的除了设有轨道面的表面之外的表面上。

[0082] 尤其是,在该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承中,还将具备绝缘特性的薄膜涂覆在形成于所述一个轴承环中的两配合沟上。

[0083] 上述结构可优选应用在密封装置为包括导电弹性材料的密封圈或金属屏蔽板的情况下。

[0084] 再有,优选具备绝缘特性的薄膜是陶瓷绝缘涂层或由合成树脂如 PPS(聚苯硫醚)制成的绝缘涂层。

[0085] 这里,对于由陶瓷制成的绝缘涂层来说,优选使用构成绝缘涂层的陶瓷含有 99 重量%以上氧化铝 ( $Al_2O_3$ ) 的那种。在上述绝缘涂层的情况下,形成在除了设有轨道面的表面之外的轴承环的表面上绝缘涂层是通过研磨陶瓷喷镀层的表面而形成的。此外,除了相邻表面之间连续折叠部外的陶瓷喷镀层的厚度为 0.4mm 以下,且研磨陶瓷喷镀层而获得的陶瓷涂层的厚度为 0.25mm 以上。

[0086] 另外,在具备绝缘特性的涂层是由陶瓷制成的绝缘涂层的情况下,绝缘涂层可以是含有氧化钛 ( $TiO_2$ ) 或氧化锆 ( $ZrO_2$ ) 的氧化铝喷镀层。

[0087] 在氧化铝喷镀层含有氧化钛的情况下,氧化铝含量为 99 重量%以上,而氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%。

[0088] 此外,在氧化铝喷镀层含有氧化锆的情况下,氧化铝含量为 97 重量%以上,而氧化锆含量为 0.5-2.5 重量%。

[0089] 在具有此成分的陶瓷喷镀层的情况下,当它形成在除了设有轨道面的表面之外的轴承环表面上时,还优选通过研磨陶瓷喷镀层的表面而形成。此外,在此情况下,还优选除了相邻表面之间的连续折叠部外的陶瓷喷镀层的厚度为 0.4mm 以下,且研磨陶瓷喷镀层而获得的绝缘涂层的厚度为 0.25mm 以上。

[0090] 在绝缘涂层由陶瓷喷镀层制成的情况下,优选使用颗粒尺寸为 10-50  $\mu m$  且平均颗粒尺寸为 15-25  $\mu m$  的氧化铝,目的在于:提高作为绝缘涂层的陶瓷喷镀层的关于厚度尺寸的精度,并且提高构成陶瓷喷镀层的氧化铝的沉积效率。

[0091] 另一方面,在涂覆除了设有轨道面的表面以外的轴承环表面和两配合沟的具有绝缘特性的薄膜是由合成树脂制成的绝缘涂层的情况下,除了上述 PPS 外,合成树脂的实例有芳香族聚酰胺树脂、脂肪族聚酰胺树脂等。

[0092] 此外,还可将纤维材料与合成树脂相混,以便提高绝缘涂层的强度。纤维材料的实例有玻璃纤维、陶瓷纤维、石棉、熔渣纤维等。

[0093] 另外,还可将弹性材料与合成树脂相混,以便提高绝缘涂层的耐冲击性。弹性材料的实例有三元乙丙橡胶 (EPDM)、腈基丁二烯橡胶 (NBR)、苯乙烯丁二烯橡胶 (SBR) 等。

[0094] 况且,还可给合成树脂添加填充材料,以便提高绝缘涂层的绝缘性。填充材料的实

例有碳化硅 (SiC)、氮化铝 (ALN)、氧化铍 (BeO)、氮化硼 (BN)、氧化铝 ( $Al_2O_3$ ) 等的粉末、纤维和晶须。

[0095] 再有,在防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的制造方法中,氧化铝含量为 99 重量%以上的陶瓷喷镀层形成在除了设有轨道面之外的表面上,其中除了相邻表面之间连续折叠部外的部分的厚度限定在 0.4mm 以下。之后,通过研磨除了涂覆折叠部的部分外的陶瓷喷镀层部分,产生厚度为 0.25mm 以上的绝缘涂层。

[0096] 又一方面的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承包括:外环、内环以及多个滚动元件,它们都各自由金属制成。

[0097] 外环具有形成在其内周面上的外环轨道。

[0098] 此外,内环位于外环内侧且具有形成在其外周面上的内环轨道。

[0099] 此外,滚动元件设置在外环轨道和内环轨道之间,以使得它们可以自由滚动。

[0100] 尤其是,在该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承中,以氧化铝 ( $Al_2O_3$ ) 作为其主成分的陶瓷绝缘涂层至少形成在外环除了外环轨道之外的表面的外周面上。另外,绝缘涂层的绝缘电阻值为 1000M $\Omega$  以上,而电容为 27nF 以下。

[0101] 另外,为了调整如上所述的绝缘涂层的绝缘电阻值和电容,绝缘涂层是氧化铝含量为 99 重量%以上、氧化钛 ( $TiO_2$ ) 含量为 0.01-0.2 重量%以及膜厚为 0.1-0.7mm 的绝缘涂层。

[0102] 作为选择,绝缘涂层可以是氧化铝含量为 97 重量%以上、氧化锆 ( $ZrO_2$ ) 含量为 0.1-2.5 重量%以及膜厚为 0.1-0.7mm 的绝缘涂层。

[0103] 在实施这些实施例中的每一个且绝缘涂层通过等离子喷涂形成的情况下,优选至少构成滚动轴承的两个轴承环的外环已经过高温尺寸稳定化处理或由高温尺寸稳定化材料制成。其高温尺寸稳定化处理的实例有施加高温回火或双回火来使得残留的奥氏体量为 2 容积%以下的处理,如专利文献 14 中所述的。另外,高温尺寸稳定化材料的实例有作为高温轴承的高速钢的 AISI M50 和 M50NIL,或者如在专利文献 15 中所述的一种 Si 和 Cu 含量高于正常轴承钢 (SUJ2、SUJ3 等) 的且残留奥氏体量为 3 容积%以下的材料。

[0104] 此外,优选这些实施例中的每一个都应用于这样的结构,即,绝缘涂层仅由一个直接形成在外环表面上的层构成,且滚动轴承的外径为 200mm 以上。

[0105] 另外,本发明的轴承装置包括:滚动轴承和装配在滚动轴承外侧的金属配合部件。

[0106] 滚动轴承包括外环、内环以及多个滚动元件,它们各自由金属制成。

[0107] 外环具有形成在其内周面上的外环轨道。

[0108] 此外,内环位于外环内侧且具有形成在其外周面上的内环轨道。

[0109] 另外,滚动元件设于外环轨道与内环轨道之间,于是它们就可自由滚动。

[0110] 内环通过过盈配合与配合部件装配在一起。

[0111] 尤其是,在所述的该轴承装置中,以氧化铝 ( $Al_2O_3$ ) 作为其主成分的陶瓷绝缘涂层至少形成在内环除了内环轨道外的表面的内周面上。此外,内环与配合部件之间的过盈量被调整成不让绝缘涂层受损。内环含有涂覆内周面的绝缘涂层,并且,内环与配合部件(例如,轴)之间的过盈量是涂覆内环内周面的绝缘涂层与配合部件之间的过盈量。

[0112] 另外,为了防止绝缘涂层在使用过程中受损,优选这样控制内环与配合部件之间的过盈量,使得作用在涂覆内环的内周面的绝缘涂层上的周向应力(圆周方向上的应力)

为  $200\text{N}/\text{mm}^2$  以下,即便在使用过程中。也就是说,内环和配合部件有时在使用过程中发生热膨胀。不过,即便在这种情况下,也将过盈量确定成不让作用在绝缘涂层上的周向应力超过  $200\text{N}/\text{mm}^2$ 。不必说,即便在装配过程中(温度上升之前的状态下),也使作用在绝缘涂层上的周向应力不超过  $200\text{N}/\text{mm}^2$  地配置。

[0113] 此外,在实施了这些轴承装置的情况下,优选绝缘涂层的绝缘电阻值为  $1000\text{M}\Omega$  以上,而电容为  $27\text{nF}$  以下。

[0114] 另外,为了调整如上所述的绝缘涂层的绝缘电阻值和电容,绝缘涂层是氧化铝含量为 99 重量%以上、氧化钛 ( $\text{TiO}_2$ ) 含量为 0.01-0.2 重量%以及膜厚为 0.1-0.7mm 的绝缘涂层。

[0115] 作为选择,绝缘涂层可以是氧化铝含量为 97 重量%以上、氧化锆 ( $\text{ZrO}_2$ ) 含量为 0.1-2.5 重量%以及膜厚为 0.1-0.7mm 的绝缘涂层。

[0116] 在实施这些轴承装置中的每一个且绝缘涂层通过等离子喷涂而形成的情况下,优选至少构成滚动轴承的两个轴承环的内环已经过高温尺寸稳定化处理或由高温尺寸稳定化材料制成。其高温尺寸稳定化处理的实例有施加高温回火或双回火来使得残留的奥氏体量为 2 容积%以下的处理,如专利文献 14 中所述的。另外,高温尺寸稳定化材料的实例有作为高温轴承的高速钢的 AISI M50 和 M50NIL,或者如在专利文献 15 中所述的一种 Si 和 Cu 含量高于正常轴承钢 (SUJ2、SUJ3 等) 的且残留奥氏体量为 3 容积%以下的材料。

[0117] 此外,优选本发明应用于这样一个结构,即,外环的外周面和两端面的表面积之和大于或等于内环的内周面和两端面的表面积之和的 1.3 倍。此外,更优选将其应用于如下结构,即,绝缘涂层由一个直接形成在内环表面上的层构成,且滚动轴承的内径为 100mm 以上。

[0118] 还优选本发明的轴承装置装在变换器控制的电动机或发电机的旋转支承部中。在此情况下,滚动轴承的内环牢靠地装配在例如其外周面上装有转子的发电机等旋转轴的外侧。

[0119] 另外,另一方面的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承包括一对彼此同心定位的金属轴承环,和多个金属滚动元件,其设于一对形成在两轴承环对向面上的轨道面之间,这样它们就可自由滚动。

[0120] 涂覆有陶瓷绝缘涂层的表面不同于两个轴承环的至少一个轴承环设有轨道面的轨道侧周面。

[0121] 尤其是,在该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承中,对于一个涂覆轴承环(作为设有绝缘涂层的轴承环),远离轴向端面沿轴向凹入的一凹陷部绕着整个圆周设在轴向端面的沿径向在一部分处引向轨道侧周面的部分中。此外,绝缘涂层自轴向端面向凹陷部连续地涂覆。另外,轴向端面与凹陷部之间的连续部的形状不是顶角为  $135^\circ$  以下的顶点。

[0122] 在实施该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,例如凹陷部为部分锥形的凹入形状,其母线形状为直线。凹陷部与轴向端面之间的连续部是部分圆形的凸面,其横截面的曲率半径为 1mm 以上。

[0123] 作为替换,凹陷部是多个连接的部分锥形的凹入面,其相对于涂覆轴承环中心轴的倾斜角不同,且其母线形状是直线。相邻的部分锥形的凹入面之间的交角和其中一个部分锥形的凹入面与轴向端面之间连续部的顶角为  $150^\circ$  以上。

[0124] 可替代地,凹陷部是单个部分锥形的凹面状,其母线形状为直线。凹陷部与轴向端面之间连续部的顶角为 150 度以上。

[0125] 可替代地,凹陷部是母线形状为部分圆的凸面。轴向端面的母线与凹陷部的母线相切地定位。

[0126] 此外,在实施该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,优选在凹陷部沿径向的两端缘中,引向轨道侧周面(涂覆它的绝缘涂层的表面)的端缘距离涂覆轴承环的轴向端面(涂覆它的绝缘涂层的表面或作为面向轴向端面的配合面的壳体表面)位于 1mm 以上轴向靠内的位置。

[0127] 另外,另一方面的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承包括在其内周面上具有外环轨道的金属外环、在其外周面上具有内环轨道且与外环同心地位于外环内径侧的金属内环、以及多个设于内环轨道与外环轨道之间使之可自由滚动的金属滚动元件。

[0128] 此外,在该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,外环和内环中的至少一个是涂覆轴承环,且绝缘涂层涂覆在涂覆轴承环除了设有作为外环轨道或内环轨道的轨道面的轨道侧周面之外的表面上。

[0129] 尤其是,在该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承中,将表示包含具有轨道侧周面的涂覆轴承环的滚动轴承的相关性能或历史信息的字符或参考符号标识在远离轨道面的轨道侧周面的部分上。

[0130] 在实施该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,设有保持滚动元件的保持器。字符或参考符号标识在被保持器覆盖的部分上。

[0131] 此外,在实施该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,优选的是,对于涂覆轴承环,沿轴向远离轴向端面凹陷的凹陷部绕着整个圆周设在轴向端面的沿径向在一部分处引向设有轨道面的周面的部分中。此外,绝缘涂层自轴向端面向凹陷部连续地涂覆。

[0132] 在实施该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,还优选的是,轴向端面与凹陷部之间的连续部不是顶角为 135 度以下的顶点。具体而言,顶角是 135 度以上(例如,150 度以上)的角度,或连续部是横截面为圆弧的凸面。此外,在凹陷部沿径向的两端缘中,引向设有轨道面的周面的端缘距离轴向端面位于 1mm 以上轴向靠内的位置。

[0133] 此外,在又一方面的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,仅外环和内环中一个的轴承环是涂覆轴承环。在涂覆轴承环的表面中,绝缘涂层涂覆在除了设有作为外环轨道或内环轨道的轨道面的轨道侧周面之外的表面上。相反,外环和内环的另一个轴承环是外露轴承环,其表面没有涂覆绝缘涂层。

[0134] 特别是,在该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承中,表示含有外露轴承环的滚动轴承的性能或历史信息的字符或参考符号标识在外露轴承环表面的一部分上,该部分是除了形成在外露轴承环周面上的轨道面之外的部分。

[0135] 在实施了该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,优选对应于标识在外露轴承环表面上的字符或参考符号的第二字符或参考符号标识在涂覆轴承环的设有轨道面的周面远离轨道面的部分上。在实施了该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,还可使用这样的结构,即,设有保持器、形成有凹陷部以及轴向端面与凹陷部之间的连续部不是具有顶角的顶点。

[0136] [发明效果]

[0137] 根据本发明的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承及其制造方法,可同时确保高水平的绝缘性、耐久性以及低成本。

[0138] 也就是说,采用了氧化铝含量为 99 重量%以上的陶瓷喷镀层,但这样的陶瓷喷镀层具有相当高的电阻率(优良的绝缘性)。因此,如果确保绝缘涂层在研磨之后的厚度为 0.25mm 以上,假定应用于通用或轨道车电动机旋转轴的旋转支承部、或发电机旋转轴的旋转支承部、或一般工业的通用电动机的旋转支承部等,可充分确保防电解侵蚀的效果。

[0139] 另外,在绝缘涂层 6 是通过研磨形成在除了轨道面之外的表面上的陶瓷喷镀层的表面而形成的情况下,陶瓷喷镀层的厚度为 0.4mm 以下,除了相邻表面之间的连续折叠部外,并且,研磨陶瓷喷镀层而获得的绝缘涂层的厚度为 0.25mm 以上,就可同时确保高水平的绝缘性、耐久性以及低成本。

[0140] 也就是说,在第三方面描述的结构情况下,采用了氧化铝含量大于或等于 97 重量%且氧化锆含量大于或等于 0.5-2.5 重量%的陶瓷喷镀层。但这样的陶瓷喷镀层具有相当高的电阻率(优良的绝缘性)。因此,如果确保绝缘涂层在研磨之后的厚度大于或等于 0.25mm,假定应用于通用电动机或钢轨摆动块电动机的旋转轴、或发电机旋转轴的旋转支承部,可充分确保防电解侵蚀的效果。

[0141] 此外,在本发明的第一、第三、第六以及第十一方面,为了确保研磨后绝缘涂层的厚度大于或等于 0.25mm,即便陶瓷喷镀层在研磨之前的厚度小于或等于 0.4mm,也能充分确保研磨余量。如果陶瓷喷镀层的厚度可限定成小于或等于 0.4mm,涂覆相邻表面之间两连续折叠部的陶瓷喷镀层的厚度可限定成小于 0.5mm(还小于或等于 0.48mm)。如果陶瓷喷镀层的厚度约为 0.5mm(还为 0.48mm),厚度尺寸不会过大,即便保持如初(即便厚度尺寸不因研磨而减小)也难于出现诸如裂纹、碎屑等一类的损伤。因此,研磨涂覆连续折叠部的陶瓷喷镀层部分的时间和力气可省掉,且因此降低成本。此外,通过使陶瓷喷镀层的厚度较薄{从以前的大于或等于 0.5mm(一般约为 0.6-0.7mm)至小于或等于 0.4mm}也可实现低成本。

[0142] 另外,根据本发明第二、第三、第七以及第八方面的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,通过将氧化钛或氧化锆加入氧化铝喷镀层中,可同时确保高水平的绝缘性、耐久性、低成本以及良好的外观。

[0143] 尤其是,如果氧化铝含量为 99 重量%以上且氧化铝喷镀层中的氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%或氧化铝含量为 97 重量%以上且氧化铝喷镀层中的氧化锆含量为 0.5-2.5 重量%,就容易确保良好的外观。也就是说,对于以氧化铝作为其主成分的陶瓷喷镀层,在不含氧化钛等的白色氧化铝的情况下,绝缘性优良,但在用合成树脂密封时的外观变差。相反,由于加入了 0.01 重量%以上的氧化钛,即便进行了合成树脂的密封,也不会出现导致外观变差的不规则着色。也即,当用合成树脂密封陶瓷喷镀层以覆盖其内的微小空隙时,一部分合成树脂出现在陶瓷喷镀层的表面上。在其表面颜色接近纯白的白色氧化铝的情况下,因按此方式出现在表面上的合成树脂,发生不规则的着色,这便降低了产品的外观。不过,在加入含 0.01 重量%以上氧化钛的灰色氧化铝或加入 0.5 重量%以上氧化锆的情况下,由于表面颜色的外观为灰色,如果采用具有适当颜色(灰色系)的合成树脂进行密封,降低产品外观的不规则着色不会出现在表面上。

[0144] 不过,如果含有的氧化钛超过 0.2 重量%或氧化锆超过 2.5 重量%,确保必需绝缘

性所需的陶瓷喷镀层的厚度增大。因此,氧化钛含量限定在 0.01-0.2 重量%,或氧化锆含量限定在 0.5-2.5 重量%内。

[0145] 通过将陶瓷喷镀层中的氧化钛含量限定在 0.2 重量%以下,或将氧化锆含量限定在 2.5 重量%以下,形成喷镀层时的材料产量(氧化铝粒料)略微下降。不过,如果采用颗粒尺寸为 10-50  $\mu\text{m}$  且平均颗粒尺寸为 15-25  $\mu\text{m}$  的氧化铝,就提高了形成陶瓷喷镀层的氧化铝的沉积效率,同时提高了陶瓷喷镀层厚度尺寸的相关精度,由此抑制了成本增加。也就是说,缘于沉积效率提高的材料成本的减少和缘于尺寸精度提高的精加工简易化(精加工时间缩短)能让防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的制造成本低廉化。

[0146] 此外,在将具有高强度和高粗糙度的氧化锆加入氧化铝喷镀层中的情况下,可提高氧化铝喷镀层的附着性。因此,可确保足够大的耐久性。

[0147] 另外,根据本发明防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,在将滚动轴承安装在旋转支承部中的情况下,可防止在配合沟与内装有形成配合沟的轴承环的配合部件之间出现放电现象。也就是说,由于绝缘涂层覆盖配合沟,即便配合沟表面与配合部件表面之间的距离短,表面之间也不会出现放电现象。

[0148] 此外,即便装入配合沟中的密封圈是含有导电弹性材料的密封圈,例如加有碳黑,或即便使用金属屏蔽板,也能防止电流流过密封圈或屏蔽板。另外,即便配合部件的表面与密封圈或屏蔽板之间出现放电现象,电流也不会流到轴承环侧。因此,至少可防止在两轴承环与滚动元件之间发生电解侵蚀。

[0149] 另一方面,在具备绝缘特性的涂层是由合成树脂制成的绝缘涂层且将上述纤维材料混入绝缘涂层中的情况下,绝缘涂层的强度得以确保,从而能提高蠕变阻力。此外,在将上述弹性材料混入绝缘涂层中的情况下,冲击阻力可提高。另外,在将上述填充材料混入绝缘涂层中的情况下,绝缘性可提高,传热性也可提高,由此能控制滚动轴承的温度上升。

[0150] 另外,根据本发明防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,即便在陶瓷绝缘涂层形成在大型滚动轴承的外环上的情况下,亦可充分确保绝缘涂层的绝缘性。

[0151] 也就是说,通过将以氧化铝作为其主成分的陶瓷绝缘涂层的材料和膜厚选择成使绝缘涂层的绝缘电阻值为 1000M $\Omega$  以上且电容为 27nF 以下,即便在绝缘涂层形成于表面积大的大型滚动轴承的外环上的情况下,也可实现高阻抗的滚动轴承。根据比如发明人获得的试验数据的数据范围,如果电容超过 27nF,有时无法获得足够大的阻抗(绝缘电阻值)。因此,通过使绝缘涂层的电容为 27nF 以下,优选 25nF 以下,或更优选 23nF 以下,便能充分确保绝缘涂层的绝缘性。

[0152] 此外,根据本发明的轴承装置,通过采用将陶瓷绝缘涂层形成在轴承环上的结构,能实现高阻抗(绝缘电阻值)的低廉结构。

[0153] 也就是说,由于绝缘涂层形成在内环侧,就能使形成涂层的面积小一些。因此,绝缘涂层的电容可弄得小点,而阻抗可大点。此外,由于膜厚无需大以便减小电容,制造成本得以降低。在内环通过过盈配合装入配合部件中的结构情况下,可能会在脆性陶瓷绝缘涂层中出现诸如裂纹一类的损伤。不过,如果内环与配合部件之间的过盈量被控制成让绝缘涂层不在使用过程中受损,那么这样的问题就不会发生。尤其是,如果内环与配合部件之间的过盈量被控制成让作用于涂覆内环内周面的绝缘涂层上的周向应力即便在使用过程中也为 200N/mm<sup>2</sup> 以下,那么就能有效避免绝缘涂层上出现诸如裂纹一类的损伤。

[0154] 此外,如果绝缘涂层是这样的绝缘涂层,即,氧化铝含量为 99 重量%以上,氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%,膜厚为 0.1-0.7mm,就可如上所述具有高阻抗的便宜的绝缘涂层。也就是说,氧化铝的纯度越高,阻抗就越高。不过,增大氧化铝的纯度会增加制造成本。相应地,如果加入的氧化钛含量不可避免地限定在 0.01-0.2 重量%内,就可获得高阻抗的绝缘涂层,同时最大程度地抑制成本的增加。另外,在绝缘涂层的厚度薄于 0.1mm 的情况下,绝缘电阻变得更差,即便厚于 0.7mm,也不能指望与成本增加成比例地提高绝缘性。因此,为了确保绝缘电阻且抑制制造成本的上升,绝缘涂层的厚度应为 0.1-0.7mm,优选为 0.2-0.5mm。

[0155] 另外,如果绝缘涂层是这样的绝缘涂层,即,氧化铝含量为 97 重量%以上,氧化锆含量为 0.1-2.5 重量%,氧化铝的纯度增大由此而增大阻抗,还可提高绝缘涂层与金属面的结合强度。也就是说,在高强度和高粗糙度的氧化锆含量小于 0.1 重量%的情况下,结合强度不能充分地增强。另一方面,在氧化锆含量大于 2.5 重量%的情况下,氧化铝的纯度过低,导致阻抗下降。在如上所述还加入氧化锆的情况下,与加入氧化钛的情况相似,如果绝缘涂层的厚度为 0.1-0.7mm 优选为 0.2-0.5mm,就可在绝缘电阻的确保与制造成本的控制之间找到平衡。

[0156] 此外,在绝缘涂层通过等离子喷涂而形成的情况下,如果至少构成滚动轴承的两轴承环的外环是已经过高温尺寸稳定化处理或由高温尺寸稳定化材料制成的那种,那么就可确保外环的尺寸精度。也就是说,通过施加高温尺寸稳定化处理,即便在因等离子喷涂而局部达到高温的情况下,外环的尺寸精度也能得到维持。

[0157] 另外,如果将本发明应用于滚动轴承(外环构成它)的外径为 200mm 以上的结构,本发明的效果也很显著。也就是说,由于直径为 200mm 以上的滚动轴承的外环表面积明显要大,即便绝缘涂层是不考虑表面积的尺寸而形成的,也可能无法充分确保绝缘性。相反,在本发明中,通过控制绝缘涂层的电容,即便表面积大,阻抗也能可靠地增大,由此能充分确保绝缘性。

[0158] 此外,由于绝缘涂层仅是一个层,较之专利文献 12 和 13 中描述的结构,制造成本得以降低。况且,如上所述,如果采用了含氧化锆的绝缘涂层,绝缘涂层与外环之间的附着性增大,于是即便没有设置金属层,也能防止绝缘涂层被剥离。

[0159] 另外,在绝缘涂层是通过等离子喷涂形成的情况下,如果将高温尺寸稳定化处理至少施加到构成滚动轴承的两轴承环的内环上,或采用高温尺寸稳定化材料,可确保内环的尺寸精度。也就是说,通过施加上述高温尺寸稳定化处理或采用高温尺寸稳定化材料,即便在因高温等离子喷涂气体而达到局部高温的情况下,内环的尺寸精度也能得到维持。

[0160] 此外,如果本发明应用于这样的结构,即,外环的外周面和两端面的表面积之和大于或等于内环的内周面和两端面的表面积之和的 1.3 倍,那么本发明的效果也很显著。也就是说,如果外环与内环之间的表面积差大的话,在绝缘涂层形成于内环侧上的情况下,较之同一厚度的绝缘涂层形成在外环侧上的情况,电容也较大比例地减小。另外,可实现较高的阻抗,成本降低的效果也增大了。

[0161] 另外,如果本发明应用于滚动轴承(内环构成它)的内径为 100mm 以上的结构,就可同时实现高水平的高阻抗和低成本。在内径超过 100mm 的大型轴承的情况下,通常采用直径系列号 3、2&0。在滚动轴承为这样的直径系列号 3、2 或 0 的情况下,外环的表面积比内

环的表面积大 30% 以上。此外,在滚动轴承的内径为 100mm 以上的情况下,容易喷涂内周面且工作效率优良,由此实现低成本。另外,由于绝缘涂层仅是一个层,较之专利文献 12 和 13 中描述的结构,成本可降低。况且,如上所述,如果使用了加入氧化锆的绝缘涂层,绝缘涂层与内环之间的附着力得以增大,这样,即便没有设置金属层,也能防止绝缘涂层被剥离。

[0162] 如果本发明防电解侵蚀的绝缘滚动轴承或本发明的轴承装置装在变换器控制的电动机或发电机的旋转支承部中,发明效果能更有效地获得。也就是说,如上所述,由于变换器控制的电动机等趋于增大变换器的载频,流到滚动轴承的电流的频率高。因此,绝缘涂层的阻抗(绝缘电阻值)需高。相反,在各发明的情况下,如上所述,由于可实现高阻抗,它们都适用于变换器控制的电动机等。

[0163] 此外,在本发明防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,即便在电流流动于涂覆轴承环和与之接触的配合部件之间的情况下,电流在涂覆轴承环的轴向端面与凹陷部之间的连续部的集中也受到限制(过量电流不会集中在顶点)。因此,施加到安装在通用电动机或轨道车电动机的旋转轴或发电机旋转轴的旋转支承部中的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承上的电压不可能在连续部与配合部件之间产生火花。因此,就能充分确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的耐久性。

[0164] 另外,在本发明中,涂覆轴承环的轴向端面与凹陷部之间连续部上的电流集中得到限制,于是就可防止防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的耐久性因发生火花而降低。

[0165] 此外,在本发明防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,不降低防电解侵蚀能力地提供表示性能或历史信息的字符或参考符号的标识。也就是说,由于将标识设置在没有被绝缘涂层覆盖的轴承环的表面部分也即无需与其配合面隔离的一部分上,防电解侵蚀能力不会因标识的存在而受损。因此,可确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的基本性能,同时可有效地控制防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的质量。

## 附图说明

[0166] 图 1 是示出本发明防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的两实例的截面图;

[0167] 图 2 是示出本发明第一和第二实例的部分截面图;

[0168] 图 3 是图 2 部分 A 的放大图;

[0169] 图 4 示出了本发明的第三实例,其中 (A) 是一半外环的截面图,而 (B) 是 (A) 中部分 B 的放大图;

[0170] 图 5 是图 4(A) 中部分 C 的放大图;

[0171] 图 6 示出了外环装在壳体中的状态,其中 (A) 是部分截面图,而 (B) 是 (A) 中部分 D 的放大图;

[0172] 图 7 示出了本发明的第四实例,其与图 4(A) 相似;

[0173] 图 8 是示出了第五实例的滚动轴承的部分截面图;

[0174] 图 9 是示出了第六实例的滚动轴承的部分截面图;

[0175] 图 10 是示出了第七实例的滚动轴承的部分截面图;

[0176] 图 11 是图 10 中部分 E 的放大图;

[0177] 图 12 示出了本发明的第八实例,其与图 11 相似;

[0178] 图 13 示出了本发明的第九实例,其与图 11 相似;

- [0179] 图 14 示出了本发明的第十实例,其与图 11 相似;
- [0180] 图 15 示出了本发明的第十一实例,其中 (A) 是总截面图, (B) 是侧视图, (C) 是外环的截面图, (D) 是从 (B) 侧面观察的内环的视图;
- [0181] 图 16 是本发明第十二实例的部分截面图,示出了安装在壳体中的状态;
- [0182] 图 17 是图 16 中部分 F 的放大图;
- [0183] 图 18 示出了本发明的第十三实例,其与图 17 相似;
- [0184] 图 19 示出了本发明的第十四实例,其与图 17 相似;
- [0185] 图 20 示出了本发明的第十五实例,其与图 17 相似;
- [0186] 图 21 示出了本发明的第十六实例,其中 (A) 是示出总体的侧视图,而 (B) 是从 (A) 侧面观察的取出内环的视图;
- [0187] 图 22 示出了本发明的第十七实例,其中 (A) 是示出总体的侧视图,而 (B) 是示出取出外环的横截面图;
- [0188] 图 23 是示出了陶瓷喷镀层对轴承环的周面和端面厚度以及连续折叠部厚度的影响的线形图;
- [0189] 图 24 是示出了为确认本发明效果而执行的耐压试验的结果的条形图;
- [0190] 图 25 是示出了氧化铝纯度对陶瓷喷镀层吸水性的影响的线形图;
- [0191] 图 26 示出了为确定氧化钛含量对本发明相关电阻值的影响而执行的试验的结果的线形图 (氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%);
- [0192] 图 27 是示出了为确定氧化钛含量对因水分附着引起的电阻值下降的影响而同样执行的试验的结果的线形图;
- [0193] 图 28 是示出了为确定氧化钛含量对高温下电阻值下降的影响而同样执行的试验的结果的条形图;
- [0194] 图 29 是示出了与本发明相关的陶瓷喷镀层附着力测量结果的条形图 (氧化铝含量为 97 重量%以上且氧化锆含量为 0.5-2 重量%);
- [0195] 图 30 是同样示出了陶瓷喷镀层体积电阻率值的测量结果的条形图;
- [0196] 图 31 是示出了为确认本发明效果而执行的试验的结果的条形图 (包括密封装置);
- [0197] 图 32 是示出了为调查本发明关于电容与外环表面积之间关系的效果而执行的计算的结果的线形图;
- [0198] 图 33 是示出了为调查本发明关于电容与形成有绝缘层的位置之间关系的效果而执行的计算的结果的线形图;
- [0199] 图 34 是示出传统结构第一实例的半截面图;
- [0200] 图 35 是示出密封圈装在滚动轴承中的结构实例的半截面图;
- [0201] 图 36 是同样示出装有屏蔽板的结构实例的半截面图;
- [0202] 图 37 示出了绝缘涂层形成在外环上的传统结构的第二实例,其中 (A) 是半截面图,而 (B) 是 (A) 中部分 G 的放大图;
- [0203] 图 38 示出了图 37 装在壳体中状态下的外环,其中 (A) 是部分截面图,而 (B) 是 (A) 中部分 H 的放大图;
- [0204] 图 39 是示出传统结构第三实例的截面图;

- [0205] 图 40 是示出传统结构第四实例的部分截面图；
- [0206] 图 41 是示出传统结构第五实例的图 34 中部分 J 的放大图；
- [0207] 图 42 是示出传统结构第六实例的与图 41 相似的视图；
- [0208] 图 43 是示出传统结构第七实例的侧视图。

### 具体实施方式

[0209] [ 实施例的第一实例 ]

[0210] 图 2 和 3 示出了本发明实施例的第一实例。在本实例的情况下,绝缘涂层 6a 形成在构成单列深沟径向滚珠轴承的外环 3 的外周面 7 和两轴向端面 8 上。绝缘涂层 6a 是通过在外周面 7 和两轴向端面 8 上喷涂含 99 重量%以上氧化铝的陶瓷微滴而形成的陶瓷喷镀层。优选绝缘涂层 6a 是含 0.01-0.2 重量%氧化钛的氧化铝喷镀层。作为该陶瓷喷镀层的绝缘涂层 6a 涂覆外周面 7、两轴向端面 8、四分之一圆横截面的连续折叠部 9 的表面(其连接外周面 7 的两轴向边缘和两轴向端面 8 的外周缘)。在涂覆各表面的绝缘涂层 6a 的厚度尺寸 T7、T8 和 T9(参见图 3)之中,涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 表面的部分的厚度尺寸 T7 和 T8 被限定在 0.4mm 以下。通过这些部分的厚度尺寸 T7 和 T8 限定在 0.4mm 以下,涂覆两连续折叠部 9 表面的部分的厚度尺寸 T9 被限定在 0.48mm 以下。

[0211] 此外,通过研磨涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 表面的绝缘涂层 6a 的部分,各个部分变成平滑表面,于是表面 7、8 以及内装外环 3 的壳体内表面可紧密接触。伴随着这样的研磨,从涂覆表面 7 和 8 的绝缘涂层 6a 的表面部分(图 3 的阴影线部分)中除去如图 3 所示的研磨余量  $\delta$ ,于是绝缘涂层 6a 的厚度尺寸薄于形成陶瓷喷镀层的状态下的厚度尺寸。不过,除去研磨余量  $\delta$  之后的厚度  $t7(=T7-\delta)$  和  $t8(=T8-\delta)$  还维持在 0.25mm 以上。另一方面,涂覆两连续折叠部 9 表面的绝缘涂层 6a 的部分没有被研磨,仍保持如初(喷涂时的陶瓷微滴)。

[0212] 如上所述的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承可同时确保绝缘涂层 6a 高水平的绝缘性、耐久性以及低成本。

[0213] 首先,通过采用陶瓷喷镀层以形成含有 99 重量%以上氧化铝的绝缘涂层 6a,绝缘性可得以确保。也就是说,由于含有 99 重量%以上氧化铝的陶瓷喷镀层具有较高的电阻率(优良的绝缘性),如果确保研磨之后绝缘涂层(在使用状态下)的厚度为 0.25mm 以上,假定用于通用电动机或轨道车电动机的旋转轴的旋转支承部或电位差达到约 3000V 的发电机的旋转轴的旋转支承部,就可达到充分防电解侵蚀的效果。例如,在研磨之后绝缘涂层的厚度尺寸为 0.3mm 的情况下,可确保在施加 1000V 条件下的绝缘电阻达到 5000M $\Omega$  以上。

[0214] 此外,为了确保研磨之后绝缘涂层 6a 的厚度为 0.25mm 以上,即便研磨之前陶瓷喷镀层的厚度为 0.4mm 以下,也可获得足够大的研磨余量(最大约 0.15mm)。也就是说,为了让绝缘涂层 6a 的表面与壳体内表面接触平顺,以稳定外环 3 的方位并防止将过大的力作用到绝缘涂层 6a 的部分上,需要研磨涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 表面的部分。在此情况下,所需的研磨余量也为 0.15mm 以下,于是即便将研磨之前陶瓷喷镀层的厚度限定在 0.4mm 以下,亦可确保研磨之后绝缘涂层 6a 的厚度为 0.25mm 以上。

[0215] 如果陶瓷喷镀层的厚度可限定在 0.4mm 以下,如上所述,涂覆两连续折叠部 9 表面的部分的厚度尺寸 T9 可限定在 0.48mm 以下。也就是说,在径向上从外部喷涂在外周面 7

上的陶瓷微滴和在轴向上从外部喷涂在两轴向端面 8 上的陶瓷微滴附着在两连续折叠部 9 上。因此,涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸大于涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸。

[0216] 从本发明人所做的试验中发现,当涂覆各表面 7 和 8 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸如图 23 所示增大时,涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸成比例增加得相当大,如下所述。如图 23 所示,在涂覆各表面 7 和 8 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸约 0.4mm 的情况下,涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸的增加量仍约为 1.2 倍 (0.48mm)。不过,在涂覆各表面 7 和 8 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸约 0.5mm 的情况下,涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸成比例增加约达到 1.3 倍 (0.65mm)。

[0217] 在本实例的情况下,由于涂覆各表面 7 和 8 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸限定在 0.4mm 以下,涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸可限定在 0.48mm 以下。如果陶瓷喷镀层的厚度约 0.48mm,厚度尺寸不会过大,这样就难于出现诸如裂纹、碎屑等的损伤,即便厚度尺寸保留原状(即便厚度尺寸不通过研磨减小)。因此,就省掉了涂覆两连续折叠部 9 的绝缘涂层 6a 部分的研磨时间和劳动强度,且因此降低了成本。

[0218] 另外,在本实例的情况下,由于加入了优选 0.01 重量%以上的氧化钛,就不会出现导致外观变差的不规则着色,即便进行了合成树脂的密封。也就是说,当以合成树脂覆盖陶瓷喷镀层内的微小空隙而进行合成树脂的密封时,一部分合成树脂出现在陶瓷喷镀层的表面上。在陶瓷材料含有 0.01 重量%以上的氧化钛的情况下,由于表面颜色具有灰色的外观,所以如果将具有合适颜色的合成树脂用于合成树脂的密封,使产品外观退化的不规则着色并不出现在表面上。为了让表面颜色变成灰色,优选氧化钛含量为 0.02 重量%以上。

[0219] 不过,如果加入超过 0.2 重量%的氧化钛,确保必要绝缘性所需的陶瓷喷镀层的厚度增大。因此,优选将氧化钛量限定在 0.01-0.2% 的重量。

[0220] 通过将陶瓷喷镀层内的氧化钛量限定在 0.2 重量%以下,形成喷镀层时的材料(氧化铝粒料)产量略微降低。不过,如果使用颗粒尺寸为 10-50  $\mu\text{m}$  且平均颗粒尺寸为 15-25  $\mu\text{m}$  的氧化铝,形成陶瓷喷镀层的氧化铝的沉积效率提高,同时陶瓷喷镀层厚度尺寸的相关精度提高,由此抑制成本的增加。也就是说,缘于沉积效率提高的材料成本的减少和缘于尺寸精度提高的精加工简易化(精加工时间缩短)能让防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的制造成本低廉化。

[0221] [ 实施例的第二实例 ]

[0222] 接下来,采用上述图 2 和 3 对本发明实施例的第二实例做出说明。在本实例的情况下,绝缘涂层 6b 也形成在构成单列深沟径向滚珠轴承的外环 3 的外周面 7 和两轴向端面 8 上。绝缘涂层 6b 是通过采用等离子喷涂喷涂含 97 重量%以上氧化铝和含 0.5-2.5 重量%氧化锆的陶瓷微滴而形成的陶瓷喷镀层。作为该陶瓷喷镀层的绝缘涂层 6b 涂覆外周面 7、两轴向端面 8、四分之一圆横截面的连续折叠部 9 的表面(其连接外周面 7 的两轴向边缘和两轴向端面 8 的外周缘)。在绝缘涂层 6b 的厚度尺寸 T7、T8 和 T9(参见图 3)之中,涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 表面的部分的厚度尺寸 T7 和 T8 被限定在 0.4mm 以下。通过将这部分厚度尺寸 T7 和 T8 限定在 0.4mm 以下,涂覆两连续折叠部 9 表面的部分的厚度尺寸 T9 被限定成小于 0.5mm。

[0223] 此外,通过研磨涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 表面的绝缘涂层 6b 的部分,各个部

分变成平滑表面,于是表面 7、8 以及内装外环 3 的壳体内表面可紧密接触。伴随着这样的研磨,从涂覆表面 7 和 8 的绝缘涂层 6b 的表面部分(图 3 的阴影线部分)中除去如图 3 所示的研磨余量  $\delta$ ,于是绝缘涂层 6b 的厚度尺寸薄于形成陶瓷喷镀层的状态下的厚度尺寸。不过,除去研磨余量  $\delta$  之后的厚度  $t7(=T7-\delta)$  和  $t8(=T8-\delta)$  还维持在 0.25mm 以上。另一方面,涂覆两连续折叠部 9 表面的绝缘涂层 6b 的部分没有被研磨,仍保持如初(喷涂时的陶瓷微滴)。

[0224] 如上所述的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承可同时确保绝缘涂层 6b 高水平的绝缘性、耐久性以及低成本。

[0225] 首先,通过采用陶瓷喷镀层以形成含有 97 重量%以上氧化铝的绝缘涂层 6b,绝缘性可得以确保。也就是说,由于含有 97 重量%以上氧化铝的陶瓷喷镀层具有较高的电阻率(优良的绝缘性),如果确保研磨之后绝缘涂层(在使用状态下)的厚度为 0.25mm 以上,假定用于通用电动机或轨道车电动机的旋转轴的旋转支承部或电位差达到约 3000V 的发电机的旋转轴的旋转支承部,就可达到充分防电解侵蚀的效果。例如,在研磨之后绝缘涂层的厚度尺寸为 0.25mm 的情况下,可确保在施加 1000V 条件下的绝缘电阻达到 5000M $\Omega$  以上。

[0226] 此外,为了确保研磨之后绝缘涂层 6b 的厚度为 0.25mm 以上,即便研磨之前陶瓷喷镀层的厚度为 0.4mm 以下,也可获得足够大的研磨余量(最大约 0.15mm)。也就是说,为了让绝缘涂层 6b 的表面与壳体内表面接触平顺,以稳定外环 3 的方位并防止将过大的力作用到绝缘涂层 6b 的部分上,需要研磨涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 表面的部分。在此情况下,所需的研磨余量也为 0.15mm 以下,于是即便将研磨之前陶瓷喷镀层的厚度限定在 0.4mm 以下,亦可确保研磨之后绝缘涂层 6b 的厚度为 0.25mm 以上。

[0227] 如果陶瓷喷镀层的厚度可限定在 0.4mm 以下,如上所述,涂覆两连续折叠部 9 表面的部分的厚度尺寸  $T9$  可限定成小于 0.5mm。也就是说,在径向上从外部喷涂在外周面 7 上的陶瓷微滴和在轴向上从外部喷涂在两轴向端面 8 上的陶瓷微滴附着在两连续折叠部 9 上。因此,涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸大于涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸。

[0228] 在本实例的情况下,由于涂覆各表面 7 和 8 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸限定在 0.4mm 以下,涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸可限定成小于 0.5mm。如果陶瓷喷镀层的厚度约 0.5mm,厚度尺寸不会过大,这样就难于出现诸如裂纹、碎屑等的损伤,即便厚度尺寸保留原状(即便厚度尺寸不通过研磨减小)。因此,就省掉了涂覆两连续折叠部 9 的绝缘涂层 6b 部分的研磨时间和劳动强度,且因此降低了成本。

[0229] 另外,在本实例的情况下,由于加入了 0.5 重量%以上的氧化锆,就不会出现导致外观变差的不规则着色,即便进行了合成树脂的密封。也就是说,当以合成树脂覆盖陶瓷喷镀层内的微小空隙而进行合成树脂的密封时,一部分合成树脂出现在陶瓷喷镀层的表面上。在陶瓷材料含有 0.5 重量%以上的氧化锆的情况下,由于表面颜色具有灰色外观,如果将具有合适颜色的合成树脂用于合成树脂的密封,使产品外观退化的不规则着色并不出现在表面上。

[0230] 不过,如果加入超过 2.5 重量%的氧化锆,确保必要绝缘性所需的陶瓷喷镀层的厚度增大。因此,优选将氧化锆量限定在 0.5-2.5% 的重量。

[0231] 通过将陶瓷喷镀层内的氧化锆量限定在 2.5 重量%以下,形成喷镀层时的材料

(氧化铝粒料)产量略微降低。不过,如果使用颗粒尺寸为 $10\text{--}50\ \mu\text{m}$ 且平均颗粒尺寸为 $15\text{--}25\ \mu\text{m}$ 的氧化铝,形成陶瓷喷镀层的氧化铝的沉积效率提高,同时陶瓷喷镀层厚度尺寸的相关精度提高,由此抑制成本的增加。也就是说,缘于沉积效率提高的材料成本的减少和缘于尺寸精度提高的精加工简易化(精加工时间缩短)能让防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的制造成本低廉化。

[0232] 此外,在本实例的情况下,由于在陶瓷喷镀层中加入了高强度和高粗糙度的氧化锆,就可提高陶瓷喷镀层的附着性。如果按此方式提高了陶瓷喷镀层的附着性,陶瓷喷镀层就不可能剥离,且因此确保了足够大的耐久性。

[0233] [ 实施例的第三实例 ]

[0234] 图4至6示出了本发明实施例的第三实例。本实例的特征之处在于,即便在将外环3d装入金属壳体15中的情况下,为了防止在形成于壳体15表面中的配合沟14与外环3d两端的内周面之间出现放电现象,绝缘涂层6c还涂覆两配合沟14。其它结构和效果与图34至36所示的传统结构相似。因此,与图34至36所示的结构相似的部分和重复的图将予以省略或简略,下面将着重对本实例的特征部分和不同于传统结构的部分做出说明。

[0235] 在本实例的情况下,除了外环3d的外周面7和外环3d的两轴向端面8之外,陶瓷绝缘涂层6c还涂覆两配合沟14的表面。绝缘涂层6c是例如通过等离子喷涂将含99重量%以上氧化铝的陶瓷微滴喷涂到外周面7、两轴向端面8以及两配合沟14上而形成的陶瓷喷镀层。除了外周面7、两轴向端面8以及两配合沟14外,作为该陶瓷喷镀层的绝缘涂层6c还涂覆四分之一圆横截面的连续折叠部9的表面(其连接外周面7的两轴向边缘和两轴向端面8的外周缘)。此外,连接两轴向端面8的内周向边缘和两配合沟14的两轴向端部的部分还涂覆有绝缘涂层6c。

[0236] 因此,在本实例的情况下,外环3d表面从外周向面7、连续折叠部9以及两轴向端面8到两配合沟14的部分被绝缘涂层6c涂覆。另外,两配合沟14的表面部分被绝缘涂层6c涂覆,直到两配合沟14沿轴向内侧的侧面24的内周缘。

[0237] 此外,在绝缘涂层6c(涂覆除了两配合沟14外的上述各表面7、8、9)的厚度尺寸 $T_7$ 、 $T_8$ 和 $T_9$ (参见图5)之中,涂覆外周面7和两轴向端面8表面的部分的厚度尺寸 $T_7$ 和 $T_8$ 被限定在 $0.4\text{mm}$ 以下。通过将这部分厚度尺寸 $T_7$ 和 $T_8$ 限定在 $0.4\text{mm}$ 以下,涂覆两连续折叠部9表面的部分的厚度尺寸 $T_9$ 被限定成小于 $0.5\text{mm}$ (优选为 $0.48\text{mm}$ 以下)。

[0238] 此外,对于涂覆表面7、8和9的绝缘涂层6c,通过研磨涂覆外周面7和两轴向端面8表面的部分,各个部分变成平滑表面,于是表面7、8以及作为匹配元件的内装外环3d的壳体15的内表面(参见图6)可紧密接触。伴随着这样的研磨,从涂覆表面7和8的绝缘涂层6c的表面部分(图5的阴影线部分)中除去如图5所示的研磨余量 $\delta$ ,于是绝缘涂层6c的厚度尺寸薄于形成陶瓷喷镀层的状态下的厚度尺寸。不过,除去研磨余量 $\delta$ 之后的厚度 $t_7(=T_7-\delta)$ 和 $t_8(=T_8-\delta)$ 还维持在 $0.25\text{mm}$ 以上。另一方面,涂覆两连续折叠部9表面的绝缘涂层6c的部分没有被研磨以便减少成本且仍保持如初(喷涂时的陶瓷微滴)。

[0239] 此外,优选确保涂覆两配合沟14的绝缘涂层6c的厚度至少为 $0.25\text{mm}$ 以上。也就是说,由于两配合沟14的形状较之外周面7和两轴向端面8的复杂,所以难于控制绝缘涂层6c的厚度。因此,就可能在涂覆两配合沟14表面的绝缘涂层6c的厚度上产生偏差。不过,由于现今喷涂技术的改进,能将厚度控制在一定范围内。因此,通过在喷涂过程中倍加

注意,优选涂覆两配合沟 14 的绝缘涂层 6c 的厚度在 0.25mm 以上。按此方式,如果能确保涂层厚度在 0.25mm 以上,就可确保足够大的绝缘性。

[0240] 在装入两配合沟 14 中的密封装置为利用金属芯 12 强化弹性材料 13 而形成密封圈 10(参见图 35)的情况下,弹性材料 13 与两配合沟 14 相配合。因此,即便绝缘涂层 6c 略厚于位于外周面 7 和两轴向端面 8 上的作为支承在壳体 15 内的部分,也难于出现诸如裂纹、碎屑等的损伤。因此,在两密封圈 10 装入两配合沟 14 中的情况下,涂覆两配合沟 14 的绝缘涂层 6c 的厚度可在不产生下述功能问题的范围内增大。不过,在例如装配屏蔽板 11(参见图 36)的情况下,由于可能在绝缘涂层 6c 中出现诸如裂纹或碎屑的损伤,优选通过设计适用的喷涂方法或研磨喷镀层而将涂覆两配合沟 14 的绝缘涂层 6c 的厚度限定在 0.5mm 以下。

[0241] 此外,即便装在两配合沟 14 内的部件为密封圈 10 或屏蔽板 11,也优选在喷涂之后考虑尺寸的情况下,在喷涂之前控制两配合沟 14 的尺寸。也就是说,如上所述,在将绝缘涂层 6c 喷涂在两配合沟 14 上的情况下,难于控制厚度。因此,当联接密封圈 10 或屏蔽板 11 时,即便在喷涂之后,也首先检查喷镀层形成得怎样,随后控制形成绝缘涂层 6c 之前两配合沟 14 的尺寸以便防止出现任何问题。例如,要防止形成绝缘涂层 6c 之后配合沟 14 的两内侧面之间装配两部件 10 和 11 的空间过大,或防止装配两部件 10 和 11 的空间过小。然后,要防止密封圈 10 或屏蔽板 11 容易拆卸,因为密封圈 10 或屏蔽板 11 不可能完全插入,且防止装配密封圈 10 或屏蔽板 11 时所需的作用力过大。

[0242] 根据上述构造的本实例的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,在将滚动轴承安装在旋转支承部中的情况下,可防止在配合沟 14 与内装有形成两配合沟 14 的外环 3d 的壳体 15 之间出现放电现象。也就是说,在如上所述的传统结构的情况下,如图 38(B) 所示,由于绝缘涂层不形成在配合沟 14 中,壳体 15 的表面部分与未被绝缘涂层涂覆的外环 3a 的表面部分(也即,配合沟 14 沿轴向的端缘)之间的距离  $L_1$  短。因此,在电位差大比如为 1500V 以上的情况下,就可能在壳体 15 的表面部分与两配合沟 14 的表面之间出现放电现象。不过,在本实例的情况下,由于配合沟 14 被绝缘涂层 6c 涂覆,如图 6(B) 所示,即便外环 3d 安装在壳体 15 中使得壳体 15 和两配合沟 14 的部分相邻,也能令壳体 15 的表面部分与未被绝缘涂层涂覆的外环 3d 的表面部分(也即,配合沟 14 侧面 24 的内周缘)之间的距离  $L_2$  大于图 38 所示结构中的距离  $L_1$ 。因此,能防止在壳体 15 的表面部分与两配合沟 14 的表面之间出现放电现象。

[0243] 另外,在本实例的情况下,即便将由添加有导电碳黑的丙烯腈-丁二烯橡胶制成的弹性材料 13 用作密封圈 10 或使用金属屏蔽板 11,至少也能防止电流流到外环 3d 的侧面。也就是说,在使用导电密封圈 10 或金属屏蔽板 11 而不用绝缘涂层涂覆两配合沟 14 的情况下,因为密封圈 10 或屏蔽板 11 的表面与壳体 15 表面之间产生的放电现象,电流容易流过密封圈 10 或屏蔽板 11。不过,在本实例的情况下,由于内装密封圈 10 或屏蔽板 11 的两配合沟 14 被绝缘涂层 6c 涂覆,就可防止放电现象,于是就能防止电流流过密封圈 10 或屏蔽板 11。

[0244] 不过,如上所述,在将导电密封圈 10 或金属屏蔽板 11 装在两配合沟 14 中的状态下,密封圈 10 或屏蔽板 11 从两配合沟 14 露出的外周缘部分与壳体 15 表面之间的距离变短。即便在此情况下,距离也大于如图 38(B) 所示结构中的壳体 15 表面与配合沟 14 表面

之间的距离 L1。因此,难于在壳体 15 的表面与密封圈 10 或屏蔽板 11 之间出现放电现象。此外,即便在壳体 15 的表面与密封圈 10 或屏蔽板 11 之间出现放电现象,由于配合沟 14 被绝缘涂层 6c 涂覆,电流不会流到外环 3d 的侧面。因此,尽管可能在密封圈 10 或屏蔽板 11 的内周缘与内环两端的外周面之间出现放电现象,在外环轨道 4 或内环轨道与滚动元件的接触点也不会出现电解侵蚀。

[0245] 此外,通过采用陶瓷喷镀层以形成含有 99 重量%以上氧化铝的绝缘涂层 6c,绝缘性可得以确保。也就是说,由于含有 99 重量%以上氧化铝的陶瓷喷镀层具有较高的电阻率(优良的绝缘性),如果确保使用状态下绝缘涂层 6c 的厚度为 0.25mm 以上,就可达到充分防电解侵蚀的效果,即便电位差大。

[0246] 为了防止在伴随有合成树脂的密封情况下在陶瓷喷镀层上出现不规则的着色,优选在陶瓷喷镀层中加入 0.01-0.2 重量%的氧化钛。为了让表面颜色变成灰色,优选氧化钛的含量为 0.02-0.2 重量%。此外,为了维持形成喷镀层时的材料(氧化铝粒料)产量,优选使用颗粒尺寸为 10-50  $\mu\text{m}$  且平均颗粒尺寸为 15-25  $\mu\text{m}$  的氧化铝。

[0247] 此外,在绝缘涂层 6c 涂覆外环 3d 的外周面 7 和两轴向端面 8 的情况下,为了确保绝缘涂层 6c 的厚度为 0.25mm 以上,即便研磨之前陶瓷喷镀层的厚度为 0.4mm 以下,也可获得足够大的研磨余量(最大约 0.15mm)。也就是说,为了让绝缘涂层 6c 涂覆外环 3d 外周面 7 的表面与壳体 15 的内表面接触平顺,以稳定外环 3 的方位并防止将过大的力作用到绝缘涂层 6c 的部分上,需要研磨涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 表面的部分。在此情况下,所需的研磨余量也为 0.15mm 以下,于是即便将研磨之前陶瓷喷镀层的厚度限定在 0.4mm 以下,亦可确保研磨之后绝缘涂层 6c 的厚度为 0.25mm 以上。

[0248] 如果涂覆表面 7 和 8 的陶瓷喷镀层的厚度可限定在 0.4mm 以下,如上所述,涂覆两连续折叠部 9 表面的部分的厚度尺寸 T9 可限定在 0.5mm 以下(更优选 0.48mm 以下)。也就是说,在径向上从外部喷涂在外周面 7 上的陶瓷微滴和在轴向上从外部喷涂在两轴向端面 8 上的陶瓷微滴附着在两连续折叠部 9 上。因此,涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸大于涂覆外周面 7 和两轴向端面 8 的陶瓷喷镀层的厚度尺寸。即便在此情况下,如果厚度尺寸 T9 限定在 0.5mm 以下,也难于在涂覆两连续折叠部 9 的陶瓷喷镀层上出现诸如裂纹、碎屑等的损伤。

[0249] 此外,还能在氧化铝含量为 97 重量%以上且氧化锆含量为 0.5-2.5 重量%的喷镀层中形成绝缘涂层 6c,取代氧化铝含量为 99 重量%以上且氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%的喷镀层。

[0250] [ 实施例的第四实例 ]

[0251] 图 7 示出了本发明实施例的第四实例。在本实例的情况下,外环 3e 的外周面 7、两轴向端面 8、两连续折叠部 9 以及配合沟 14 都被由 PPS 树脂等之类的合成树脂制成的绝缘涂层 6d 涂覆。在本实例的情况下,凹部 25 形成在外环 3e 的外周面 7 和两轴向端面 8 中。此外,在绝缘涂层 6d 涂覆各表面 7、8、9 和 14 的状态下,形成在与各凹部 25 一致的绝缘涂层 6d 中位置上的凸部 26 与其对应的凹部 25 相接合。因此,外环 3e 的表面 7、8、9 和 14 与绝缘涂层 6d 的结合强度增大,于是可防止绝缘涂层 6d 与表面 7、8、9 和 14 分开。

[0252] 就在外环 3e 的表面 7、8、9 和 14 上涂覆绝缘涂层 6d 的方法而言,存在一种例如通过模制在外环 3e 上形成绝缘涂层 6e 的方法。在此情况下,在模制过程中,绝缘涂层 6d 的

部分进入各凹部 25 中,从而形成凸部 26。

[0253] 此外,在绝缘涂层 6d 也是由如上所述的合成树脂制成的情况下,如果涂覆外环 3e 的外周面 7、两轴向端面 8、两连续折叠部 9 以及配合沟 14 的绝缘涂层 6d (除了凸部 26 外) 的厚度得到适当的控制,就可高度确保绝缘性,同时较高程度地防止诸如裂纹一类的损伤。例如,各表面 7、8、9 和 14 的厚度为 0.2-1.0mm,优选是 0.25-0.5mm。其它结构和效果与上述第三实例中的相似。

[0254] [ 实施例的第五实例 ]

[0255] 图 8 示出了本发明实施例的第五实例。本实例的特征之处在于,即便在绝缘陶瓷涂层 17b 形成于大型滚动轴承的外环 3f 侧面的情况下,也能将绝缘涂层 17b 的性能控制成获得足够大的绝缘性。滚动轴承的基本结构和效果与比如专利文献 6 和 11 至 13 中的公知滚动轴承的相似。因此,与传统结构相似的部分的说明予以省略或简略,下文将着重对本实例的特征部分做出说明。

[0256] 本实例的滚动轴承 16b 包括外环 3f、内环 1d 以及多个滚珠 18,均由比如轴承钢 (例如 SUJ2 或 SUJ3) 的金属制成,与图 39 所示的结构相似。此外,在本实例的情况下,对其中的外环 3f 施加了尺寸稳定化处理。就尺寸稳定化处理而言,例如,在硬化之后的高温 (例如 240℃) 进行回火,残留的奥氏体量为 2 容积%以下。此外,在本实例的情况下,滚动轴承 16b 的外径  $R_3$  (外环 3f) 为 200mm 以上。

[0257] 尤其是,在本实例的情况下,外环 3f 的外周面 7 和两轴向端面 8 涂覆有含有作为其主成分的氧化铝的绝缘陶瓷涂层 17b。绝缘涂层 17b 为单层,没有形成比如专利文献 12 和 13 中披露的金属层。此外,绝缘涂层 17b 是通过等离子喷涂形成的,并且是这样的绝缘涂层,即,其中的氧化铝含量为 99 重量%以上,氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%。另外,绝缘涂层 17b 涂覆外周面 7、两轴向端面 8 以及四分之一圆横截面的外径侧连续折叠部 27 的表面 (其连接外周面 7 的两轴向边缘和两轴向端面 8 的外周缘)。此外,在本实例的情况下,绝缘涂层 17b 还涂覆四分之一圆横截面的内径侧连续折叠部 28 的表面 (其连接两端面 8 的内周缘和外环 3f 内周面的两轴向边缘)。

[0258] 另外,在本实例的情况下,涂覆外环 3f 的外周面 7 和两端面 8 的绝缘涂层 17b 的厚度为 0.1-0.7mm。按此方式,为了控制绝缘涂层 17b 的厚度,在形成绝缘陶瓷涂层之后,对表面加以研磨。此外,关于绝缘涂层 17b 的厚度,至少外周面 7 和两端面 8 的涂层可以是 0.1-0.7mm。也就是说,在外径侧和内径侧涂覆连续折叠部 27 和 28 的绝缘涂层 17b 的部分无需研磨且仍可保持如初 (喷涂时的陶瓷微滴) 以降低成本。优选的是,研磨之后外周面 7 和两端面 8 涂层的膜厚为 0.5mm 以下。因此,研磨之前的总膜厚可薄一些,从而将降低成本。在本实例的情况下,如上所述,通过控制绝缘涂层 17b 的材料和厚度,绝缘涂层 17b 的绝缘电阻值为 1000M $\Omega$  以上,且电容为 27nF 以下。

[0259] 此外,滚动轴承 16b 例如装在风车涡轮机的变换器控制的发电机的旋转支承部中。也就是说,外环 3f 松动配合地装在构成旋转支承部的金属壳体内,而内环 1d 过盈配合地装在构成旋转支承部的金属轴的外部。

[0260] 根据上述构造的本实例的滚动轴承 16b,在绝缘陶瓷涂层 17b 形成于外径为 200mm 以上的大型滚动轴承 16b 的外环 3f 上的情况下,可确保绝缘涂层 17b 足够大的性能。

[0261] 也就是说,在本实例的情况下,绝缘涂层 17b 是这样的绝缘涂层,即,氧化铝含量

为 99 重量%以上,氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%。膜厚为 0.1-0.7mm,绝缘涂层 17b 的绝缘电阻值为 1000M $\Omega$  以上,电容为 27nF 以下。因此,即便绝缘涂层 17b 形成在表面积大的外环 3f 的侧面,亦能可靠地实现高阻抗的滚动轴承 16b。

[0262] 此外,在本实例的情况下,由于外环 3f 表面的内径侧连续折叠部 28 的表面还涂覆有绝缘涂层 17b,可避免沿面放电,从而能让阻抗变得较高。例如,在外环 3f 的端面 8 与壳体内周面内的台阶接触的情况下,外环 3f 没有形成绝缘涂层 17b 的内周面端部与台阶之间的距离靠拢。在此情况下,即便外环 3f 的轴向端面 8 涂覆有绝缘涂层 17b,也存在电流沿着外环 3f 的内周面流入台阶中的可能性。不过,如果绝缘涂层 17b 涂覆了内径侧连续折叠部 28 的表面(其连接外环 3f 的两内周面边缘和两轴向端面 8 的内周缘),就可防止电流沿着外环 3f 的内周面流到轴侧。

[0263] 另外,由于形成的绝缘涂层 17b 中的氧化铝含量为 99 重量%以上、氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%、膜厚为 0.1-0.7mm,就能便宜地获得如上所述具有高阻抗的绝缘涂层 17b。在本实例的情况下,由于绝缘涂层 17b 是通过等离子喷涂形成的,因为喷涂气体等离子的高温,局部达到高温。不过,由于形成了绝缘涂层 17b 的外环 3f 上施加有高温的尺寸稳定化处理,即便因等离子喷涂达到了局部高温,也能维持外环 3f 的尺寸精度。

[0264] 亦可通过这样的喷镀层形成绝缘涂层 17b,即其中的氧化铝含量为 97 重量%以上,氧化锆含量为 0.1-2.5 重量%,膜厚为 0.1-0.7mm。

[0265] [ 实施例的第六实例 ]

[0266] 图 9 示出了本发明实施例的第六实例。本实例的特征之处在于,绝缘陶瓷涂层形成在内环 1e 的侧面,以便实现便宜、阻抗(绝缘电阻)高以及内环 1e 与配合部件之间的过盈量得到调整的结构。滚动轴承的基本结构和效果与比如专利文献 6 和 11 至 13 中的公知滚动轴承的相似。因此,与传统结构相似的部分的说明予以省略或简略,下面将着重于对本实例的特征部分做出说明。

[0267] 类似于专利文献 6、11 至 13 中描述的结构,本实例的轴承装置也包括滚动轴承 16c 和金属轴(图中未示出),金属轴用作装配滚动轴承 16c 的配合部件。该金属轴的材料实例可以是机器结构用的铬钼合金钢、镍铬钼铸钢以及比如中碳钢的碳钢。此外,滚动轴承 16c 包括外环 3g、内环 1e 以及多个滚珠 18,均由比如轴承钢(例如 SUJ2 或 SUJ3)的金属制成,与图 39 所示的结构相似。此外,在本实例的情况下,对其中的内环 1e 施加了尺寸稳定化处理。就尺寸稳定化处理而言,例如,在硬化之后的高温(例如 240 $^{\circ}\text{C}$ )进行回火,残留的奥氏体量为 2 容积%以下。

[0268] 此外,在本实例的情况下,外环 3g 的外周面 7 和两轴向端面 8 的表面积和是内环 1e 的内周面 29 和两轴向端面 30 的表面积和的 1.3 倍。另外,在本实例的情况下,上述滚动轴承 16c(内环 1e)的内径 R1 为 100mm 以上。

[0269] 尤其是,在本实例的情况下,内环 1e 的内周面 29 和两轴向端面 30 涂覆有含有作为其主成分的氧化铝的绝缘陶瓷涂层 17c。绝缘涂层 17c 为单层,没有形成比如专利文献 12 和 13 中披露的金属层。此外,绝缘涂层 17c 是通过等离子喷涂形成的,并且是这样的绝缘涂层,即,其中的氧化铝含量为 99 重量%以上,氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%。另外,绝缘涂层 17c 涂覆内周面 29、两轴向端面 30 以及四分之一圆横截面的外径侧连续折叠部 31 的表面(其连接内周面 29 的两轴向边缘和两轴向端面 30 的内周缘)。此外,在本实例的情

况下,绝缘涂层 17c 还涂覆四分之一圆横截面的外径侧连续折叠部 32 的表面(其连接两端面 30 的外周缘和内环 1e 外周面的两轴向边缘)。

[0270] 另外,在本实例的情况下,涂覆内环 1e 的内周面 29 和两轴向端面 30 的绝缘涂层 17c 的厚度为 0.1-0.7mm。按此方式,为了控制绝缘涂层 17c 的厚度,在形成绝缘陶瓷涂层之后,对表面加以研磨。此外,关于绝缘涂层 17c 的厚度,至少内周面 29 和两轴向端面 30 的涂层可以是 0.1-0.7mm。也就是说,在内径侧和外径侧涂覆连续折叠部 31 和 32 表面的绝缘涂层 17c 的部分无需研磨且仍可保持如初(喷涂时的陶瓷微滴)以降低成本。在本实例的情况下,如上所述,通过控制绝缘涂层 17c 的材料和厚度,绝缘涂层 17c 的绝缘电阻值为 1000M $\Omega$  以上,且电容为 27nF 以下。

[0271] 此外,滚动轴承 17c 装在变换器控制的电动机或发电机的旋转支承部中。也就是说,外环 3g 松动配合地装在构成旋转支承部的金属壳体内,而内环 1e(具有形成在内周面 29 和两端面 30 上的绝缘涂层 17c) 过盈配合地装在构成旋转支承部的轴的外部。如上所述,该轴由比如铬钼合金钢或中碳钢的钢制成。在本实例的情况下,在此条件下,内环 1e 与轴之间的过盈量得到调整,于是就不会损伤绝缘涂层 17c。

[0272] 因此,在本实例的情况下,内环 1e 与轴之间的过盈量得到调整,于是作用在涂覆内环 1e 的内周面 29 的绝缘涂层 17c 上的周向应力为 200N/mm<sup>2</sup> 以下,即便在使用过程中。按此方式,作用在绝缘涂层 17c 上的周向应力可采用内环 1e 和轴的材料和尺寸、绝缘涂层 17c 的材料和尺寸、使用过程中的假定温度等进行计算。内环 1e 与轴之间的过盈量确定成让使用过程中的周向应力不超过 200N/mm<sup>2</sup>。不必说,当装配内环 1e 和轴时(当温度正常时),作用在绝缘涂层 17c 上的周向应力也是不超过 200N/mm<sup>2</sup> 地配置。为了使周向应力不超过 200N/mm<sup>2</sup> 地配置,在内环 1e 的内径例如为 180mm 的滚动轴承中,在轴承等级为 0 级的情况下,与轴配合的尺寸公差设定在 k5 至 r7(JISB1566)。

[0273] 根据上述构造的本实例的结构,可实现绝缘陶瓷涂层形成在轴承环上的结构,其便宜且阻抗(绝缘电阻)高。

[0274] 也就是说,在本实例的情况下,由于绝缘涂层 17c 形成在内环 1e 的侧面上,较之薄膜形成在外环 3g 侧面上的情况,形成绝缘涂层 17c 的面积可减小。因此,就可减小绝缘涂层 17c 的电容并增大其阻抗。此外,由于不必增大膜厚以减小电容,就可降低制造成本。

[0275] 由于形成内环 1e 和轴的金属的弹性模量小于形成绝缘涂层 17c 的陶瓷的弹性模量,而线膨胀系数大于陶瓷的线膨胀系数,所以随着使用过程中温度的上升,内环 1e 与轴之间的过盈量增大且作用在绝缘涂层 17c 上的周向应力增大。因此,在装配时的过盈量过大的情况下,可能因周向应力随温度上升而增大导致绝缘涂层 17c 发生损伤。不过,正如在本实例中那样,如果内环 1e 与轴之间的过盈量合适,内环 1e 和轴可紧紧连接,且可防止涂覆内环 1e 的内周面 29 的绝缘涂层 17c 发生损伤。尤其是,在本实例的情况下,由于内环 1e 与轴之间的过盈量被控制成令作用在涂覆内环 1e 内周面 29 的绝缘涂层 17c 上的周向应力即便在使用过程中也为 200N/mm<sup>2</sup> 以下,就能更可靠地防止在绝缘涂层 17c 中出现诸如裂纹等一类的损伤。

[0276] 另外,在本实例的情况下,绝缘涂层 17c 是这样的绝缘涂层,即,氧化铝含量为 99 重量%以上,氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%。膜厚为 0.1-0.7mm,绝缘涂层 17c 的绝缘电阻值为 1000M $\Omega$  以上,电容为 27nF 以下。因此,能更可靠地实现高阻抗的轴承装置。此外,在

本实例的情况下,由于内环 1e 的外径侧连续折叠部 32 的表面涂覆有绝缘涂层 17c,可避免沿面放电,从而能让阻抗变得较高。例如,在内环 1e 的端面 30 与轴外周面的台阶接触的情况下,内环 1e 没有形成绝缘涂层 17c 的外周面端部与台阶之间的距离靠拢。在此情况下,即便内环 1e 的轴向端面 30 涂覆有绝缘涂层 17c,也存在电流沿着内环 1e 的外周面流入台阶中的可能性。不过,如果外径侧连续折叠部 32 的表面(其连接内环 1e 外周面的两端缘和两轴向端面 30 的外周缘)涂覆有绝缘涂层 17c,就可防止电流沿着内环 1e 的外周面流到轴侧。

[0277] 另外,由于形成的绝缘涂层 17c 中的氧化铝含量为 99 重量%以上、氧化钛含量为 0.01-0.2 重量%、膜厚为 0.1-0.7mm,就能便宜地获得如上所述具有高阻抗的绝缘涂层 17c。在本实例的情况下,由于绝缘涂层 17c 是通过等离子喷涂形成的,因为喷涂气体等离子的高温,局部达到高温。不过,由于形成了绝缘涂层 17c 的内环 1e 上施加有高温的尺寸稳定化处理,即便因等离子喷涂达到了局部高温,也能维持内环 1e 的尺寸精度。

[0278] 此外,在本实例的情况下,外环 3g 的外周面 7 和两端面 8 的表面积和是内环 1e 的内周面 29 和两端面 30 的表面积和的 1.3 倍。另外,滚动轴承 16c 的内径 R1 为 100mm 以上。因此,可同时实现滚动轴承良好的高阻抗水平并降低成本。在滚动轴承 16c 的内径为 100mm 以上的情况下,容易喷涂内周面 29,工作效率优良,由此实现了低成本。

[0279] 亦可通过这样的喷镀层形成绝缘涂层 17c,即其中的氧化铝含量为 97 重量%以上,氧化锆含量为 0.1-2.5 重量%,膜厚为 0.1-0.7mm。

[0280] [ 实施例的第七实例 ]

[0281] 图 10 和 11 示出了本发明实施例的第七实例。滚动轴承在形成于内环 1f 的外周面中的内环轨道 2 与形成于外环 3h 的内周面中的外环轨道 4 之间设有多个滚动元件 5,其能让内环 1f 和外环 3h 彼此相对旋转。外环 3h 的外周面和两轴向端面 8 涂覆有绝缘涂层 6e。

[0282] 此外,在本实例的情况下,在外环 3h 的两轴向端面 8 与内周面 33 之间,形成有部分锥形的凹入倒角 23,其相对于外环 3h 的中心轴倾斜 45 度。两倒角 23 是母线形状为直线的部分锥形的凹入凹陷部。两倒角 23 的外周缘与两轴向端面 8 之间的连续部 22b 是横截面的曲率半径  $r$  为 1mm 以上的部分圆形的凸面 34。此外,确保了涂覆两倒角 23 的内周边缘部的绝缘涂层 6e 的表面与沿外环 3h 的轴向涂覆两轴向端面 8 的绝缘涂层 6e 的表面之间的距离  $L$  (涂覆倒角 23 的内周边缘部的绝缘涂层 6e 的表面与壳体 15b 之间的距离) 为 1mm 以上。

[0283] 根据上述构造的本实例的结构,即便在电流流动于外环 3h 与壳体 15b (由导电材料制成并与外环 3h 接触) 之间的情况下,集中在面向壳体 15b 的连续部 22b 上的电流量也会受到限制。也就是说,连续部 22b 是横截面的曲率半径  $r$  为 1mm 以上的部分圆形的凸面 34 且不是顶点,于是集中在连续部 22b 上的电流量就会受到限制。因此,施加在装于通用电动机或轨道车电动机的旋转轴或发电机的旋转轴的旋转支承部中的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承上的电压 (1000VDC 以下) 不可能在连续部 22b 与壳体 15b 之间发生火花。因此,可确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承足够大的耐久性。当本发明人按四步将曲率半径  $r$  改变为 0.6mm、1.0mm、1.2mm 和 1.5mm 并且在外环 3h 与壳体 15b 之间施加 1000V 的直流电压时,在曲率半径  $r$  为 0.6mm 的情况下,在连续部 22b 上发生火花,而在曲率半径  $r$  为 1.0mm、1.2mm 和

1.5mm 的情况下,不发生火花。在试验中,绝缘涂层 6e 的材料是白色氧化铝,厚度为 0.2mm。此外,涂覆倒角 23 内周缘的绝缘涂层 6e 的表面与壳体 15b 之间的距离 L 为 1.0mm。

[0284] 正如从试验中显而易见的那样,在本实例的情况下,即便绝缘涂层 6e 不是特别厚(例如,即便是 0.5mm 以下或 0.3mm 以下),也能防止在外环 3h 与由导电材料制成的壳体 15b 之间发生火花。因此,即便在临界使用条件下,也能实现充分有效地防止电解侵蚀的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,降低了成本。连续部 22b 横截面的曲率半径 r 优选为 2mm 以上。也就是说,优选曲率半径 r 的数值较大,假定可确保涂覆倒角 23 的内周缘的绝缘涂层 6e 的表面与壳体 15b 之间的距离 L 为 1mm 以上(优选为 2mm 以上)。假定距离 L 可得到保证,也就可将比如 100mm 的大数值用于曲率半径 r。

[0285] [ 实施例的第八实例 ]

[0286] 图 12 示出了本发明实施例的第八实例。在本实例的情况下,形成为引向作为涂覆轴承环的外环 3h 的轴向端面 8 的内径的一部分的凹陷部是多个(本实例在图中为三个)连接的部分锥形凹面 35a、35b 和 35c,其相对于作为涂覆轴承环的外环 3h 的中心轴的倾斜角不同且其母线形状是直线。邻接的部分锥形凹面 35a、35b 和 35c 之间以及最靠近外径侧定位的部分锥形凹面 35c 与轴向端面 8 之间连续部 22c、22d 和 22e 的顶角都是 150 度以上(优选 165 度以上)。此外,在本实例的情况下,确保涂覆最靠近内径定位的部分锥形凹面 35a 的内端缘的绝缘涂层 6e 的表面与壳体 15b 之间的距离 L 为 1mm 以上(优选为 2mm 以上)。

[0287] 通过采用上述构造的本实例的结构,即便在电流流动于外环 3h 与壳体 15b(由导电材料制成并与外环 3h 接触)之间的情况下,电流在面向壳体 15b 的连续部 22c、22d 和 22e 上的集中也会受到限制。也就是说,由于顶角都是 150 度以上(优选 165 度以上)的连续部 22c、22d 和 22e 不是顶点,电流不集中在连续部 22c、22d 和 22e 上,于是就能确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承足够大的耐久性。优选连续部 22c、22d 和 22e 的顶角大,假定可确保涂覆部分锥形凹面 35a 的内端缘的绝缘涂层 6e 的表面与壳体 15b 之间的距离 L 为 1mm 以上(优选 2mm 以上)。相反,如果连续部 22c、22d 和 22e 的顶角超过 175 度,就难于保证距离 L。因此,实际上将连续部 22c、22d 和 22e 的顶角限定在 175 度以下。绝缘涂层 6e 厚度小于 0.5mm 或尤其小于 0.3mm 的情况下发明效果显著的事实与实施例第七实例的上述情况相似。

[0288] [ 实施例的第九实例 ]

[0289] 图 13 示出了本发明实施例的第九实例。在本实例的情况下,形成为引向作为涂覆轴承环的外环 3h 的轴向端面 8 的内径的一部分的凹陷部是单个部分锥形凹面 35,其母线形状是直线。部分锥形凹面 35 与外环 3h 的轴向端面 8 之间连续部 22f 的顶角是 150 度以上。此外,在本实例的情况下,可防止连续部 22f 与壳体 15b 之间发生火花,且确保了防电解侵蚀的绝缘滚动轴承足够大的耐久性。其它部分的结构和效果与第七实例和第八实例的相似。

[0290] [ 实施例的第十实例 ]

[0291] 图 14 示出了本发明实施例的第十实例。在本实例的情况下,形成为引向作为涂覆轴承环的外环 3h 的轴向端面 8 的内径的一部分的凹陷部是凸面 34a,其母线形状是部分圆。轴向端面 8 的母线与凸面 34a 的母线相切。在本实例中,还可防止在外环 3h 与壳体 15b 之

间发生火花,包括凸面 34a 的连续部和轴向端面 8,并确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承足够大的耐久性。其它部分的结构和效果与第七实例和第八实例的相似。

[0292] [ 实施例的第十一实例 ]

[0293] 图 15 示出了本发明实施例的第十一实例。在本实例的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36 中,内环 1f( 其中的内环轨道 2 形成在其外周面中) 和外环 3h( 其中的外环轨道 4 形成在其内周面中) 彼此同心地定位,并且,在它们由保持器 37 保持以致可自由滚动的状态下,将多个滚动元件 5 设于内环轨道 2 与外环轨道 4 之间。此外,内径侧绝缘涂层 38 形成在内环 1f 的内周面和两轴向端面上,于是在内环 1f 装配在比如旋转轴的内径侧配合部件外侧的状态下,防止电流在内环 1f 与内径侧配合部件之间流动。另外,外径侧绝缘涂层 39 形成在外环 3h 的外周面和两轴向端面上,于是在外环 3h 装配在比如壳体的外径侧配合部件内侧的状态下,防止电流在外环 3h 与外径侧配合部件之间流动。在本实例中,将陶瓷喷镀层用于内径侧绝缘涂层 38 和外径侧绝缘涂层 39。

[0294] 在该防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的情况下,在作为涂敷轴承环的内环 1f 装配在金属旋转轴外侧而外环 3h 装配在金属壳体内侧的状态下,内径侧绝缘涂层 38 和外径侧绝缘涂层 39 使壳体与旋转轴绝缘。因此,电流不在壳体与旋转轴之间流动,如上所述,这就防止了在滚动轴承的各个部件 1f、3h 和 5 中产生电解侵蚀。

[0295] 在本实例的情况下,标记 40a 和 40b( 表示防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36 的性能或历史信息的字符或参考符号) 标识在内环 1f 外周面的部分和外环 3h 内周面的部分上,它们构成如上所述的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36。首先,对于外环 3h,利用空气标识器或激光标识器将标记 40a 标识在一对外环肩部 41 中一个外环肩部 41( 图 15(C) 右边的那个) 的内周面上,这对外环肩部 41 自两轴向侧插入形成在外环 3h 内周面中央部的的外环轨道 4。此外,对于内环 1f,采用同样的方法将标记 40b 标识在一对内环肩部 42 的一个内环肩部 42( 图 15(D) 右边的那个) 的外周面上,这对内环肩部 42 自两轴向侧插入形成在内环 1f 外周面中央部的内环轨道 2。在不因为变成放电起点对两轨道 2 和 4 产生不利影响的范围内,两个标记 40a 和 40b 都标识在尽可能靠近内环 1f 和外环 3h 的轴向中心的部分上,以便于尽可能少地对防电解侵蚀的能力产生不利影响。因此,标有两标记 40a 和 40b 的内环肩部 42 的外周面和外环肩部 41 的内周面的部分在安装防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36 的状态下被保持器 37 覆盖。

[0296] 在如上所述构造的本实例的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36 的情况下,可标识表示性能或历史信息的字符或参考符号的标记 40a 和 40b,而不会降低防电解侵蚀的能力。也就是说,在两内环 1f 和外环 3h 上,由于两个标记都设在没有被内径侧绝缘涂层 38 和外径侧绝缘涂层 39 涂覆的内环 1f 和外环 3h 的周面部分上,也即作为配合面无需与旋转轴或壳体绝缘的部分,所以防电解侵蚀能力不受标记 40a 和 40b 标识的损伤。此外,标记 40a 和 40b 被保持器 37 覆盖,但它们可通过在径向上移动保持器 37 而被识别。如果防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36 出现任何问题,就可通过拆下相关的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36 而进行识别。因此,可确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36 的基本能力,同时可有效地控制防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36 的质量。

[0297] [ 实施例的第十二实例 ]

[0298] 图 16 和 17 示出了本发明实施例的第十二实例。在本实例的情况下,部分锥形的

凹入倒角 23(相对于外环 3h 的中心轴倾斜 45 度)形成在外环 3h 的两轴向端面 8 与内周面 33 之间。两倒角 23 是凹陷部。两倒角 23 的外周缘与两轴向端面 8 之间的连续部 22b 是横截面的曲率半径  $r$  为 1mm 以上的部分圆形的凸面 34。此外,确保了倒角 23 的内周边缘部与轴向端面 8 之间(或涂覆倒角 23 的内周边缘部的外径侧绝缘涂层 39 的表面与涂覆两轴向端面 8 的外径侧绝缘涂层 39 的表面之间)沿外环 3h 轴向的距离  $L$  等于涂覆倒角 23 的内周边缘部的外径侧绝缘涂层 39 的表面与壳体 15b 之间的距离。作为表示防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36a 的性能或历史信息的字符或参考符号的标记标识在外环肩部 41 的内周面(参见图 15(C))上,与实施例的第十一实例的情况相似。

[0299] 根据上述构造的本实例的结构,即便在电流流动于外环 3h 与壳体 15b(由导电材料制成并与外环 3h 接触)之间的情况下,集中在面向壳体 15b 的连续部 22b 上的电流量也会受到限制。也就是说,连续部 22b 是横截面的曲率半径  $r$  为 1mm 以上的部分圆形的凸面 34 且不是顶点,于是集中在连续部 22b 上的电流量就会受到限制。因此,施加在装于通用电动机或轨道车电动机的旋转轴或发电机的旋转轴的旋转支承部中的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承上的电压(1000VDC 以下)不可能在连续部 22b 与壳体 15b 之间发生火花。因此,可确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承足够大的耐久性。

[0300] 当本发明人按四步将曲率半径  $r$  改变为 0.6mm、1.0mm、1.2mm 和 1.5mm 并且在外环 3h 与壳体 15b 之间施加 1000V 的直流电压时,在曲率半径  $r$  为 0.6mm 的情况下,在连续部 22b 上发生火花,而在曲率半径  $r$  为 1.0mm、1.2mm 和 1.5mm 的情况下,不发生火花。在试验中,外径侧绝缘涂层 39 的材料是白色氧化铝,厚度为 0.2mm。此外,涂覆倒角 23 内周缘的外径侧绝缘涂层 39 的表面与壳体 15b 之间的距离  $L$  为 1.0mm。

[0301] 正如从试验中显而易见的那样,在本实例的情况下,即便外径侧绝缘涂层 39 不是特别厚(例如,即便是 0.5mm 以下或 0.3mm 以下),也能防止在外环 3h 与由导电材料制成的壳体 15b 之间发生火花。因此,即便在临界使用条件下,也能实现充分有效地防止电解侵蚀的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承,降低了成本。连续部 22b 横截面的曲率半径  $r$  优选为 2mm 以上。也就是说,优选曲率半径  $r$  的数值较大,假定可确保涂覆倒角 23 的内周缘的外径侧绝缘涂层 39 的表面与壳体 15b 之间的距离  $L$  为 1 mm 以上(优选为 2mm 以上)。假定距离  $L$  可得到保证,也就可将比如 100mm 的大数值用于曲率半径  $r$ 。

[0302] 在本实例的情况下,与上述实施例的第十一实例不同,内径侧绝缘涂层没有设在内环 1f 上,而是可以按照需要设置。其它部分的结构和效果与实施例的第十一实例相似,且因此省略重复的说明。

[0303] [实施例的第十三实例]

[0304] 图 18 示出了本发明实施例的第十三实例。在本实例的情况下,形成为引向作为涂覆轴承环的外环 3h 的轴向端面 8 的内径的一部分的凹陷部是多个(本实例在图中为三个)连接的部分锥形凹面 35a、35b 和 35c,其相对于作为涂覆轴承环的外环 3h 的中心轴的倾斜角不同且其母线形状是直线。邻接的部分锥形凹面 35a、35b 和 35c 之间以及最靠近外径侧定位的部分锥形凹面 35c 与轴向端面 8 之间连续部 22c、22d 和 22e 的顶角都是 150 度以上(优选 165 度以上)。此外,在本实例的情况下,确保涂覆最靠近内径的部分锥形凹面 35a 的内端缘的外径侧绝缘涂层 39 的表面与壳体 15b 之间的距离  $L$  为 1mm 以上(优选为 2mm 以上)。作为表示防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的性能或历史信息的字符或参考符号的标记标

识在外环肩部 41 的内周面（参见图 15(C)）上，与实施例的第十一实例和实施例的第十二实例的情况相似。

[0305] 通过采用上述构造的本实例的结构，即便在电流流动于外环 3h 与壳体 15b（由导电材料制成并与外环 3h 接触）之间的情况下，电流在面向壳体 15b 的连续部 22c、22d 和 22e 上的集中也会受到限制。也就是说，由于顶角都是 150 度以上（优选 165 度以上）的连续部 22c、22d 和 22e 不是顶点，电流不集中在连续部 22c、22d 和 22e 上，于是就能确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承足够大的耐久性。优选连续部 22c、22d 和 22e 的顶角大，假定可确保涂覆部分锥形凹面 35a 的内端缘的外径侧绝缘涂层 39 的表面与壳体 15b 之间的距离 L 为 1mm 以上（优选 2mm 以上）。相反，如果连续部 22c、22d 和 22e 的顶角超过 175 度，就难于保证距离 L。因此，实际上将连续部 22c、22d 和 22e 的顶角限定在 175 度以下。在外径侧绝缘涂层 39 厚度小于 0.5mm 或尤其小于 0.3mm 的情况下因顶角大带来的效果显著的事实与实施例第十二实例的上述情况相似。

[0306] [ 实施例的第十四实例 ]

[0307] 图 19 示出了本发明实施例的第十四实例。在本实例的情况下，形成为引向作为涂覆轴承环的外环 3h 的轴向端面 8 的内径的一部分的凹陷部是单个部分锥形凹面 35，其母线形状是直线。部分锥形凹面 35 与外环 3h 的轴向端面 8 之间连续部 22f 的顶角是 150 度以上。此外，在本实例的情况下，可防止连续部 22f 与壳体 15b 之间发生火花，且确保了防电解侵蚀的绝缘滚动轴承足够大的耐久性。作为表示防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的性能或历史信息的字符或参考符号的标记标识在外环肩部 41 的内周面（参见图 15(C)）上，与实施例的第十一和十二实例和实施例的第十三实例的情况相似。其它部分的结构和效果与实施例的第十一和十二实例和实施例的第十三实例相似。

[0308] [ 实施例的第十五实例 ]

[0309] 图 20 示出了本发明实施例的第十五实例。在本实例的情况下，形成为引向作为涂覆轴承环的外环 3h 的轴向端面 8 的内径的一部分的凹陷部是凸面 34a，其母线形状是部分圆。轴向端面 8 的母线与凸面 34a 的母线相切。在本实例中，还可防止在外环 3h 与壳体 15b 之间发生火花，包括凸面 34a 的连续部 22b 和轴向端面 8，并确保防电解侵蚀的绝缘滚动轴承足够大的耐久性。作为表示防电解侵蚀的绝缘滚动轴承的性能或历史信息的字符或参考符号的标记标识在外环肩部 41 的内周面（参见图 15(C)）上，与实施例的第十一至十三实例和实施例的第十四实例的情况相似。其它部分的结构和效果与实施例的第十一至十三实例和实施例的第十四实例相似。

[0310] [ 实施例的第十六实例 ]

[0311] 图 21 示出了本发明实施例的第十六实例。在本实例的情况下，内环 1f 的内周面和两轴向端面涂覆有内径侧绝缘涂层 38。不过，外环 3h 的表面没有涂覆绝缘涂层，于是形成外环 3h 的金属材料（轴承钢）露出。也就是说，在本实例的情况下，内环 1f 是涂覆轴承环，而外环 3h 是外露轴承环。作为表示含外环 3h 的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36b 的性能或历史信息的字符或参考符号的标记 40c 标识在外环 3h 的轴向端面上。此外，在本实例的情况下，对应于标识在外环 3h 上的标记 40c 的字符或参考符号的第二标记 40d 标识在没有涂覆绝缘涂层的内环 1f 表面的内环肩部 42 的外周面上。

[0312] 在本实例中，旋转轴与壳体之间的绝缘仅是内径侧绝缘涂层 38。外环 3h 与壳体之

间没有绝缘。在该实例的情况下,由于标记 40c 和 40d 的标识设在无需与其作为旋转轴或壳体的配合面绝缘的部分上,防电解侵蚀能力不因标记 40c 和 40d 标识的存在而受损。由于标识在外环 3h 上的标记 40c 设在外环 3h 轴向端面明显突出的部分上,就可容易地执行防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36b 的质量控制等。

[0313] 此外,在本实例的情况下,由于对应于标识在外环 3h 上的标记 40c 的标记 40d 在使用防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36b 的状态下标识在作为涂覆轴承环的内环 1f 上,内环 1f 和外环 3h 就可正确地匹配。例如,在防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36b 为锥形滚柱轴承的情况下,轴承厂所制的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36b 有时在拆卸的状态下输送到电动机、发电机等的制造工厂,然后在制造工厂组装。在这样的情况下,如果标识了标记 40d,内环 1f 和外环 3h 就可正确地匹配,于是就能展现防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36b 足够大的能力。其它部分的结构和效果与实施例的第十一实例相似。在本实例中,还优选内径侧绝缘涂层 38 的周缘形状是图 16 至 20 所示的形状(径向上内外颠倒)。

[0314] [实施例的第十七实例]

[0315] 图 22 示出了本发明实施例的第十七实例。在本实例的情况下,外环 3h 的外周面和两轴向端面涂覆有外径侧绝缘涂层 39。不过,内环 1f 的表面没有涂覆绝缘涂层,于是形成内环 1f 的金属材料(轴承钢)露出。也就是说,在本实例的情况下,外环 3h 是涂覆轴承环,而内环 1f 是外露轴承环。作为表示含内环 1f 的防电解侵蚀的绝缘滚动轴承 36c 的性能或历史信息的字符或参考符号的标记 40c 标识在内环 1f 的轴向端面上。此外,在本实例的情况下,对应于标识在内环 1f 上的标记 40c 的字符或参考符号的第二标记 40d 标识在外环 3h 的外环肩部 41 的内周面上。除了涂覆轴承环和外露轴承环内外颠倒,其它部分的结构和效果与第十六实例的情况相似。在本实例中,还优选外径侧绝缘涂层的周缘形状是图 16 至 20 所示的形状。

[0316] [加工例 1]

[0317] 为确认本发明效果所做试验的说明如下。以下参照图 1 至 3 进行描述。首先,对为确定陶瓷喷镀层厚度和陶瓷喷镀层氧化铝百分比含量在陶瓷喷镀层厚度非均匀性和绝缘性方面的影响所做的试验加以说明。本试验中使用的是构成轴承型号为 6316 的单列深沟滚珠轴承(外径:170mm,内径:80mm,宽度:39mm)的外环 3(外环的内径:142mm)。

[0318] 首先,对为确定形成在外环 3 的外周面 7 和两轴向端面 8 上的陶瓷喷镀层的厚度尺寸  $T_7$  和  $T_8$ (厚度的非均匀性)对两连续折叠部 9 的厚度尺寸  $T_9$  的影响所做的试验加以说明。在该试验中,形成在外环 3 的外周面 7 和两轴向端面 8 上的陶瓷喷镀层的厚度尺寸  $T_7$  和  $T_8$ ( $T_7 \approx T_8$ ) 按八步在 0.15mm 与 0.60mm 之间改变,并且测量两连续折叠部 9 的厚度尺寸  $T_9$ 。图 23 示出了试验结果。正如从图 23 中明显看出的那样,形成在各表面 7 和 8 上的陶瓷喷镀层的厚度尺寸  $T_7$  和  $T_8$  越小,两连续折叠部 9 的厚度尺寸  $T_9$  变得越小。不过,如果形成在各表面 7 和 8 上的陶瓷喷镀层的厚度尺寸  $T_7$  和  $T_8$  增大,两连续折叠部 9 的厚度尺寸  $T_9$  沿着二次曲线增大。这便确认了:重要的是,限定形成在各表面 7 和 8 上的陶瓷喷镀层的厚度尺寸  $T_7$  和  $T_8$ ,以便于限定两连续折叠部 9 的厚度尺寸  $T_9$ 。

[0319] 接下来,对为确认即便减小绝缘涂层 6a 的厚度尺寸也能通过采用含有 99 重量%以上氧化铝的陶瓷喷镀层实现足够大绝缘性所做的试验加以说明。对于制备的绝缘涂层 6a 来说,含有 99 重量%氧化铝和 0.04 重量%氧化钛并已施加了合成树脂密封的陶瓷喷镀层

随后以 0.15mm、0.25mm、0.35mm 的三个尺寸研磨到厚度尺寸  $t_7$  和  $t_8$  ( $t_7 \approx t_8$ )。此外,与传统技术相似,制备厚度尺寸为 0.3mm 和 0.5-0.6mm 的氧化铝含量(氧化铝含量为 94 重量%,氧化钛含量为 2.4 重量%)低的陶瓷喷镀层。对各个陶瓷喷镀层进行耐压试验,其中施加到绝缘涂层两侧上的直流电压逐渐增大。施加电压的最大值为 3000V。制备各类两种合计 10 个的试样。此外,上述的合成树脂密封将双酚 F 环氧树脂用作其主成分,其在上述专利文献 7 的说明书中描述为加工例 1。按此方式进行的试验结果如图 24 所示。

[0320] 即便在使用含有 99 重量%以上氧化铝的陶瓷喷镀层的情况下,当绝缘涂层 6a 的厚度尺寸  $t_7$  和  $t_8$  为 0.15mm 时,在 1000V 或 2700V 确认沿面放电,事实证明,对于  $t_7$  和  $t_8$  的厚度尺寸,0.15mm 是不足够的。不过,在  $t_7$  和  $t_8$  的厚度尺寸为 0.25mm 和 0.35mm 的情况下,即便施加的最大电压为 3000V,仍可确保足够大的绝缘性。这就确认了:如果使用了含 99 重量%以上氧化铝的陶瓷喷镀层,并确保厚度尺寸  $t_7$  和  $t_8$  为 0.25mm 以上,就可保证绝缘性足够大。此外,在绝缘涂层由氧化铝含量为 94 重量%(较之本发明的情况要低一些)的陶瓷喷镀层制成的情况下,一些试样在 1100V 的电压下发生介质击穿,而一些试样即便在 3000V 的电压下也不会发生介质击穿。事实表明,为了即便在氧化铝比例如上所述较低时也能确保足够大的绝缘性,必须确保绝缘涂层的厚度尺寸约为 0.5 至 0.6mm。

[0321] 此外,将描述为确定陶瓷喷镀层中的氧化铝纯度(百分比含量)对陶瓷喷镀层吸水性的影响所做的试验。在该试验中,通过研磨已与前述情况一样预施加合成树脂的密封的陶瓷喷镀层,在轴承型号为 6316 的单列深沟滚珠轴承外环 3 的表面上形成有厚度理想的绝缘涂层。制备三种纯度的氧化铝,即 94 重量%(氧化钛含量:2.4 重量%)、98 重量%(氧化钛含量:0.8 重量%)、以及 99 重量%(氧化钛含量:0.04 重量%),并且,厚度根据纯度适当地调节,使得成形之后不久的电阻值在干燥条件下约为 5000M $\Omega$ 。具体地说,在 94 重量%的情况下,厚度为 0.3mm,而在 98 重量%和 99 重量%的情况下,厚度为 0.25mm。这三个试样都浸在 80 摄氏度的热水中达一个小时,在除去表面上附着的水分之后,测量外环 3 的内周面(没有涂覆绝缘涂层)与其涂覆有绝缘涂层的外周面之间的电阻值。

[0322] 图 25 中示出了按此方式执行的试验结果。在图 25 中,实线“a”、虚线“b”以及点划线“c”和“d”分别示出了氧化铝纯度为 99 重量%、98 重量%以及 94 重量%的情况。实线“a”表示:在绝缘涂层中的氧化铝纯度为 99 重量%情况下开始测量电阻值之后不久,电阻值达到 5000M $\Omega$ 。此外,虚线“b”表示:类似地在氧化铝纯度为 98 重量%情况下开始测量电阻值之后已经过约 30 秒后,电阻值达到 5000M $\Omega$ 。另外,点划线“c”和“d”表示:在氧化铝纯度为 94 重量%情况下,在开始测量电阻值之后已经过约 10 分钟之后,一些电阻值达到 5000M $\Omega$ ,而另一些电阻值仅增大到约 2000M $\Omega$ 。电阻值随时间消逝而增大的一个原因在于,浸入绝缘涂层中的水分因电阻测量的电流产生的热而蒸发。

[0323] 正如从图 25 显示其结果的试验中明显看出的,绝缘涂层中氧化铝的纯度越高,绝缘涂层就越难吸水。尤其是,事实证明,在氧化铝纯度为 99 重量%的情况下,绝缘涂层几乎不吸水,于是即便在将绝缘涂层用在可能会附着水分的区域中或用在高湿度大气中的情况下,依然总能获得优良的绝缘性。

[0324] [加工例 2]

[0325] 下面对为确认本发明中 0.01-0.1 重量%氧化钛带来的效果所做的试验进行描述。首先说明这样执行的一个试验,即,通过限定陶瓷喷镀层中混合的氧化钛量并将氧化铝

的颗粒尺寸弄得小些,确认与陶瓷喷镀层的厚度尺寸相关的精度改进和氧化铝沉积效率的改进。在本试验中,使用的还是构成轴承型号为 6316 的单列深沟滚珠轴承(外径:170mm,内径:80mm,宽度:39mm)的外环 3(外环的内径:142mm)。

[0326] 执行形成陶瓷喷镀层的操作,目的在于:在构成滚珠轴承的外环外周面和两轴向端面上形成厚度为 0.3mm 的喷镀层。因此,确认了:厚度差量可限定在 0.04mm 以下(涂覆外周面的喷镀层的直径上为 0.08mm),同时维持足够大的材料产量。在传统使用的将氧化铝作为其主成分且氧化钛含量约为 3 重量%的陶瓷喷镀层中,需将厚度定在约 0.7-0.8mm,以便于维持所需的绝缘性。在采用颗粒尺寸约为 30-75  $\mu\text{m}$  的陶瓷颗粒形成该厚度的陶瓷喷镀层的情况下,获得的陶瓷喷镀层的厚度差量约达到 0.15-0.2mm。陶瓷喷镀层需要在进行合成树脂密封之后对表面施加精加工。不过,厚度差量越大,精加工就越费时费力。在考虑了这一问题而对上述试验结果进行了研究的情况下,就本发明而言,事实证明,制造成本降低了。

[0327] 接下来,对为确定氧化钛含量对作为陶瓷喷镀层的绝缘涂层的绝缘电阻产生的影响所做的试验加以说明。在该试验中,使用的还是轴承型号为 6316 的构成单列深沟滚珠轴承的外环 3(参见图 1 至 3)。

[0328] 由陶瓷喷镀层制成的绝缘涂层采用 5 种材料形成在外环 3 上,其中,主成分是氧化铝,并且,氧化钛含量分别是 0.01 重量%(氧化铝含量:超过 99.7 重量%)、0.04 重量%(氧化铝含量:99.7 重量%)、0.2 重量%(氧化铝含量:99.3 重量%)、0.4 重量%(氧化铝含量:98.8 重量%)以及 3 重量%(氧化铝含量:95 重量%)。绝缘涂层的厚度为 0.3mm(目标值)。在各种情况下,当施加 1000V 的电压(直流电)时测量电阻值。合成树脂的密封与前述加工例 1 的情况相同。

[0329] 因此,在氧化钛含量为 0.01 重量%的情况下,电阻值(体积电阻率值)为  $2.76 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ,在氧化钛含量为 0.04 重量%的情况下,电阻值(体积电阻率值)为  $2.34 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ,在氧化钛含量为 0.2 重量%的情况下,电阻值(体积电阻率值)为  $2.02 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ,在氧化钛含量为 0.4 重量%的情况下,电阻值(体积电阻率值)为  $1.62 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ,在氧化钛含量为 3 重量%的情况下,电阻值(体积电阻率值)为  $2.18 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 。图 26 示出了此类条件下执行的试验结果。正如从图 26 所示的结果中明显看出的,氧化钛含量越大,电阻值越小(绝缘性降低)。不过,在氧化钛含量超过 0.2 重量%的情况下,降低的程度变大,尤其是,在超过 0.4 重量%的情况下,降低迅速。也就是说,从氧化钛含量为 0.01 重量%的情况到 0.04 重量%的情况,电阻值降低 15%,从氧化钛含量为 0.04 重量%的情况到 0.2 重量%的情况,电阻值降低 14%,从 0.2 重量%到 0.4 重量%,电阻值降低 20%,从 0.04 重量%到 0.4 重量%,电阻值降低 31%。从 0.4 重量%到 3 重量%,电阻值降低得不均衡。

[0330] 从这些试验结果看来,事实证明,在由陶瓷喷镀层制成的绝缘涂层的厚度限定到约 0.3mm 的情况下,重要的是将氧化钛含量限定到 0.2 重量%以下,以便于维持必需的绝缘性。也就是说,在氧化钛含量为 0.4 重量%的情况下,较之 0.2 重量%的情况,绝缘性伴随混入的氧化钛量的增加而降低的情况变得显著。因此,在考虑安全性的情况下,需要将混入的氧化钛量限定到 0.2 重量%以下。

[0331] 接着,对为确定作为陶瓷喷镀层的绝缘涂层中氧化钛的含量对电阻值减小的影响

所做的试验作出说明。在该试验中,使用的还是构成轴承型号为 6316 的单列深沟滚珠轴承的外环 3。

[0332] 由陶瓷喷镀层制成的绝缘涂层采用 2 种材料形成在外环 3 上,其中主成分是氧化铝,氧化钛含量分别是 0.04 重量%和 0.4 重量%。绝缘涂层的厚度为 0.3mm(目标值)。在各种情况下,将 10 重量%的盐水施涂(刷子涂覆)在绝缘涂层的表面上,然后长时间(180 天)地暴露在高湿度的大气中(几乎是 100%湿度),之后,在 1000V(直流电)的电压下测量电阻值。合成树脂的密封与前述加工例 1 中的相同。此外,盐水每隔 30 分钟(相隔一定时间)施涂。

[0333] 图 27 示出了按此方式执行的试验结果。也就是说,在氧化钛含量为 0.04 重量%的试样情况下,电阻值即便在经过 180 天后仍然显示为 30000MΩ 以上。不过,在氧化钛含量为 0.4 重量%的试样情况下,经过 180 天后,电阻值仅显示为 5000MΩ 以下。正如从这些试验结果中明显看出的,确认了:对于因水分附着引起的电阻值降低,使氧化钛含量低是有利的。

[0334] 接下来,对为确定作为陶瓷喷镀层的绝缘涂层中的氧化钛含量对电阻值减小的影响所做的试验进行说明。在该试验中,使用的还是构成轴承型号为 6316 的单列深沟滚珠轴承的外环 3。

[0335] 由陶瓷喷镀层制成的绝缘涂层采用 2 种材料形成在外环 3 上,其中主成分是氧化铝,氧化钛含量分别是 0.04 重量%和 0.4 重量%。绝缘涂层的厚度为 0.3mm(目标值)。在各种情况下,在 160 摄氏度的大气中长时间(90 天)停留之后,在 1000V(直流电)的电压下测量电阻值。合成树脂的密封与前述加工例 1 中的相同。

[0336] 图 28 示出了按此方式执行的试验结果。正如从图 28 中明显看出的,在氧化钛含量为 0.04 重量%的试样情况下,电阻值即便在经过 90 天后仍显示为 30000MΩ 以上。不过,在氧化钛含量为 0.4 重量%的试样情况下,经过 90 天后,电阻值仅显示为 5000MΩ 以下。正如从这些试验结果中明显看出的,确认了:对于高温下的电阻值降低,使氧化钛含量低是有利的。

[0337] 正如从上述试验结果中显而易见的那样,为了防止伴随有合成树脂密封的外观变差,即便在氧化钛混入氧化铝的情况下,如果混合量限定在 0.2 重量%以下,就可确保所需的绝缘电阻。尤其是,如果混合量限定在 0.05 重量%以下,优选是 0.04 重量%以下,就可确保足够大的绝缘性,即便在进行适度粗糙加工的条件下。

[0338] [加工例 3]

[0339] 下面描述为确认本发明中氧化铝含量为 97 重量%以上且氧化锆含量为 0.5-2.5 重量%带来的效果所做的试验。首先说明为检查陶瓷喷镀层的附着力(附着强度)执行的试验。试验是基于 JISH8666 中描述的附着力试验而执行的。此外,对于陶瓷喷镀层的材料,制备四种,它们是白色氧化铝、氧化铝中含 3.0 重量%氧化钛的灰色氧化铝、氧化铝中含 0.04 重量%氧化钛的灰色氧化铝、氧化铝中含 1.25 重量%氧化锆的灰色氧化铝。此外,将比如环氧树脂类、氟类等的有机合成树脂用于合成树脂,以密封由四种材料形成的各陶瓷喷镀层。另外,各陶瓷喷镀层的膜厚为 0.35mm(350 μm)。图 29 中示出了试验结果。正如从图 29 中明显看出的,加入 0.04 重量%氧化钛的附着力为 60-64MPa,而加入 1.25 重量%氧化锆的附着力为 69MPa,从而表明了附着力高。

[0340] [加工例 4]

[0341] 接下来,对为确认陶瓷喷镀层的体积电阻率值所做的试验加以说明。试验中采用的七种材料如下:

[0342] (1) 白色氧化铝;

[0343] (2) 氧化钛含量为 0.04 重量%的氧化铝(氧化铝含量:99.7 重量%);

[0344] (3) 氧化钛含量为 0.4 重量%的氧化铝(氧化铝含量:98.8 重量%);

[0345] (4) 氧化钛含量为 3.0 重量%的氧化铝(氧化铝含量:95 重量%);

[0346] (5) 氧化锆含量为 0.5 重量%的氧化铝(氧化铝含量:99.1 重量%);

[0347] (6) 氧化锆含量为 1.25 重量%的氧化铝(氧化铝含量:98.2 重量%);

[0348] (7) 氧化锆含量为 2.5 重量%的氧化铝(氧化铝含量:97 重量%)。

[0349] 将比如环氧树脂类、氟类等的有机合成树脂用于合成树脂,以采用该合成树脂密封由七种材料形成的各陶瓷喷镀层。

[0350] 图 30 示出了当将 1000V 的电压作用到采用材料 (1) 至 (7) 形成的各陶瓷喷镀层上时的各体积电阻率值。正如从图 30 中明显看出的,在氧化钛含量为 3.0 重量%的情况下,氧化铝材料{(4)}的体积电阻率为  $8.6 \times 10^{12} (\Omega \cdot \text{cm})$ ,这是最低的。相反,白色氧化铝{(1)}的体积电阻率为  $5.0 \times 10^{14} (\Omega \cdot \text{cm})$ ,这是最高的。对于氧化钛含量为 0.04-0.4 重量%的氧化铝{(2)&(3)}和氧化锆含量为 0.5-2.5 重量%的氧化铝{(5)至(7)},体积电阻率值为  $1.0 \times 10^{14} (\Omega \cdot \text{cm})$  至  $2.5 \times 10^{14} (\Omega \cdot \text{cm})$ 。也就是说,关于氧化锆,体积电阻率值相对于其含量增加而减小的百分比含量小于氧化钛。这表明了,氧化锆含量为 0.5-2.5 重量%的陶瓷喷镀层具有较高的绝缘性。这里,{(4)}也即氧化钛含量为 3.0 重量%的氧化铝需要膜厚达到 0.5mm 以上,以便确保足够大的绝缘性。不过,氧化锆含量为 0.5-2.5 重量%的氧化铝材料可确保足够大的绝缘性,即便膜厚要薄一些。由此显示了材料成本可降低。

[0351] [加工例 5]

[0352] 下面描述为确认本发明(带密封装置的实施例)通过提供绝缘涂层带来的效果所做的试验。在该试验中,制备 3 个绝缘涂层涂覆在滚动轴承外环的配合沟上的试样(加工例)和 3 个没有涂覆绝缘涂层的试样(比较例)(合计 6 个),并调查各自的击穿电压。各种情况下的试验轴承采用的都是轴承型号为 6316(外径为 170mm、内径为 80mm、宽度为 39mm)的深沟滚珠轴承。此外,绝缘涂层为氧化铝含量为 99 重量%以上的陶瓷喷镀层。另外,加工例的配合沟绝缘涂层的厚度为 250  $\mu\text{m}$ (0.25mm)以上。这里,在每个试验轴承中,外环的外周面和两轴向端面被绝缘涂层涂覆到 0.25-0.4mm 的厚度。按此方式形成的试验轴承各自这样安装,以致壳体和配合沟的部分在如图 6(B)所示的结构中相邻,并且调查壳体与配合沟之间出现放电现象时的电压。图 31 示出了试验结果。正如从图 31 中明显看出的,在绝缘涂层没有形成在配合沟中的比较例中,存在当电位差约为 1500V 时出现放电现象的情况。不过,在绝缘涂层形成在配合沟中的加工例中,当电位差为 2000V 以上时,即便约为 2500V,放电现象也会得到抑制。

[0353] [加工例 6]

[0354] 下面描述为确认本发明效果所做的试验和计算(涉及绝缘涂层膜厚与电容的关系)。试验和计算的目的在于,调查陶瓷绝缘涂层形成在滚动轴承外环侧上和绝缘涂层厚度改变情况下的电容。作为对象的滚动轴承是一般用在发电机或电动机中的深沟滚珠轴承,

其轴承型号为 6336 (内径 180mm、外径 380mm、宽度 75mm)。外环外周面和两端面的表面积之和为  $142780\text{mm}^2$ 。

[0355] 在本加工例中,首先,测量绝缘涂层每单位面积的电容。也就是说,氧化铝含量为 99.7 重量%且氧化钛含量为 0.04 重量%的陶瓷绝缘涂层的每单位面积电容 ( $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ ) 是在膜厚为 0.3mm 和 0.5mm 时测量的。按此方式,获得如图 32 所示的直线(实线和虚线),并计算各厚度时外环表面积电容。这里,实线示出了厚度为 0.3mm 时的绝缘涂层,0.5mm 时的由虚线示出。正如从图 32 中明显看出的,即便在绝缘涂层为 0.3mm 的情况下,电容也限定在 27nF 以下。

[0356] [加工例 7]

[0357] 下面描述为确认本发明效果所做的计算(涉及绝缘涂层成形位置与电容的关系)。这些计算的目的在于,比较陶瓷绝缘涂层形成在滚动轴承外环侧和绝缘涂层形成在内环侧上的情况。作为对象的滚动轴承是一般用在发电机或电动机中的深沟滚珠轴承,且其轴承型号为 6336 (内径 180mm、外径 380mm、宽度 75mm)。外环外周面和两端面的表面积之和为  $142780\text{mm}^2$ ,而内环内周面和两端面的表面积之和为  $77200\text{mm}^2$ 。因此,外环侧的表面积大于或等于内环侧表面积的 1.3 倍(1.85 倍)。

[0358] 在本加工例中,首先,测量绝缘涂层每单位面积的电容。也就是说,氧化铝含量为 99.7 重量%且氧化钛含量为 0.04 重量%的陶瓷绝缘涂层的每单位面积电容 ( $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ ) 是在膜厚为 0.3mm 和 0.5mm 时测量的。按此方式,获得如图 33 所示的直线(实线和虚线),并计算各厚度时各表面积的电容。这里,实线示出了厚度为 0.3mm 时的绝缘涂层,0.5mm 时的由虚线示出。正如从图 33 中明显看出的,通过在表面积小的内环侧上形成绝缘涂层,可进一步减小电容。尤其是,在绝缘涂层的厚度为 0.3mm 的情况下,即便表面积较大的外环侧上形成绝缘涂层,电容也限定在 27nF 以下。不过,在将相同厚度的绝缘涂层形成在内环侧的情况下,电容小于 15nF。此外,在将厚度为 0.5mm 的绝缘涂层形成在外环侧上的情况下,电容可弄得小一些,但电容大于将厚度为 0.3mm 的绝缘涂层形成在内环侧情况下的。

[0359] 从这些试验结果看来,事实证明,通过在内环侧上形成绝缘涂层,电容得以能减小很多,且因此可实现较高的阻抗。此外,从上述计算看来,事实证明,在将绝缘涂层形成在外环侧上的情况下,为了获得等价于将绝缘涂层形成在内环侧上的滚动轴承的电容,绝缘涂层的膜厚需较大一些。因此,连同考虑绝缘涂层形成在外环侧上的面积大的事实,经事实证明,将绝缘涂层形成在内环侧上降低成本的效果显著大一些。

[0360] [工业实用性]

[0361] 在实施本发明的情况下,还可将各个加工例组合起来实施。此外,本发明不限于图中所示的单列深沟径向滚珠轴承,还可应用于其它类型的比如角面接触式、双排式等的径向滚珠轴承,或别种类型的比如锥形滚柱轴承、圆筒形滚柱轴承、自调位滚柱轴承、止推滚珠轴承、止推滚柱轴承等的滚动轴承。在应用于止推滚动轴承的情况下,绝缘涂层形成在内外周面和一个轴向面上。

[0362] 此外,在图 4 至 7 所示的各实例种,描述了绝缘涂层形成在外环上的结构。不过,在内环具有配合沟的情况下,绝缘涂层形成在内环的内周面、两轴向端面以及配合沟上。另外,在应用于止推滚动轴承的情况下,绝缘涂层形成在内外周面、一个轴向面以及配合沟上。

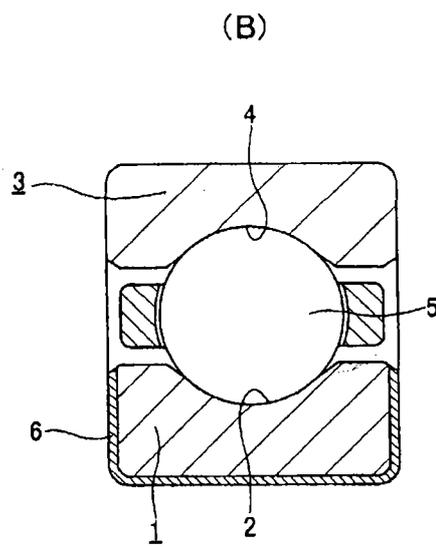
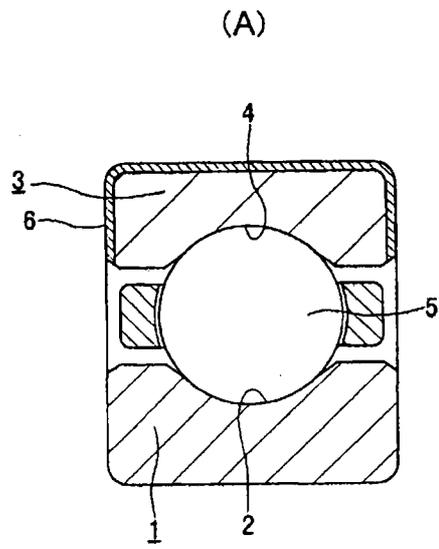


图 1

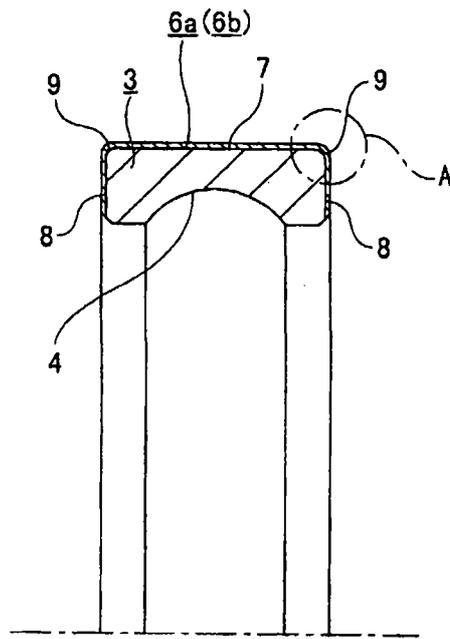


图 2

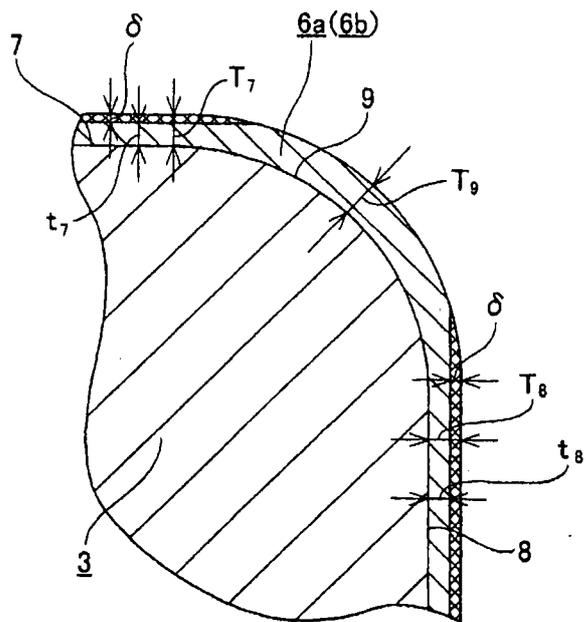
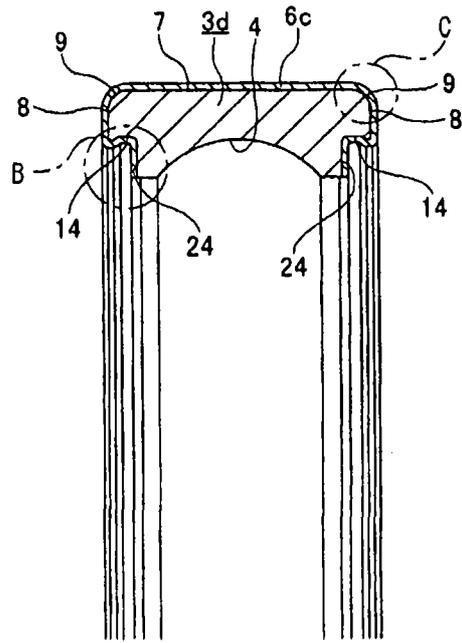


图 3

(A)



(B)

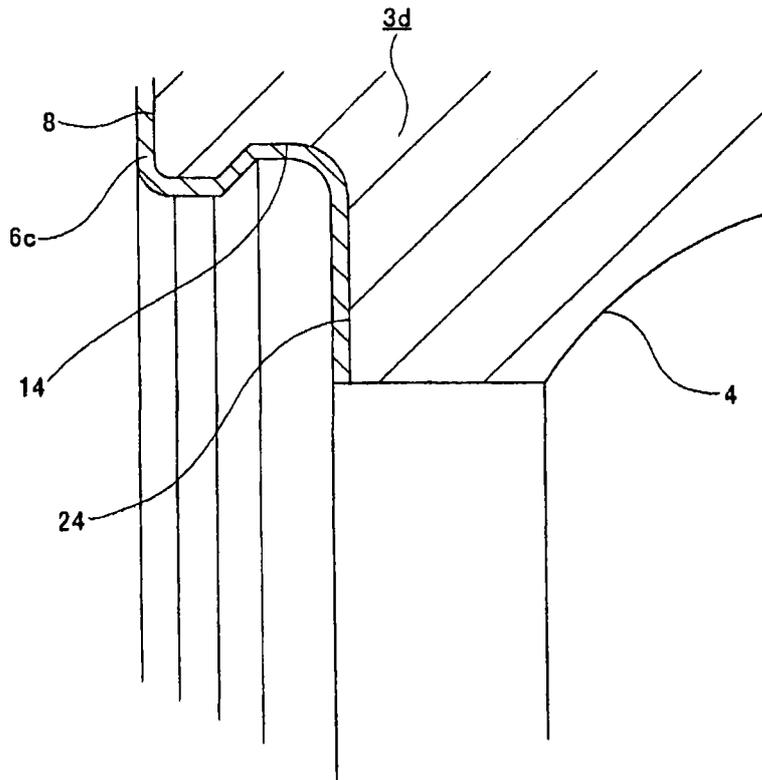


图 4

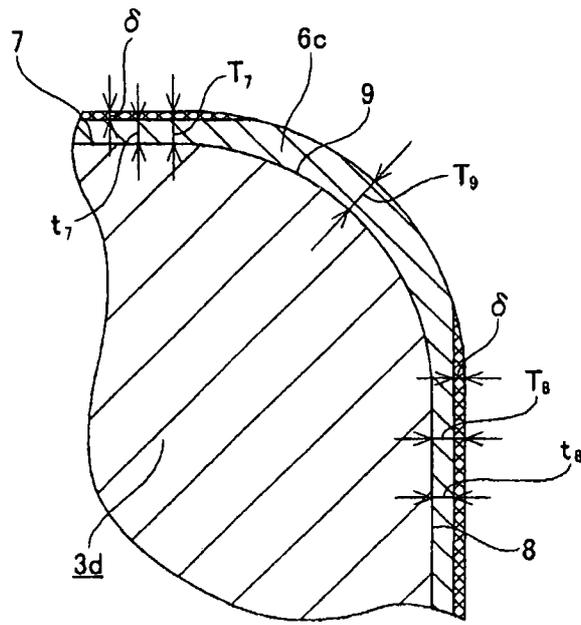


图 5

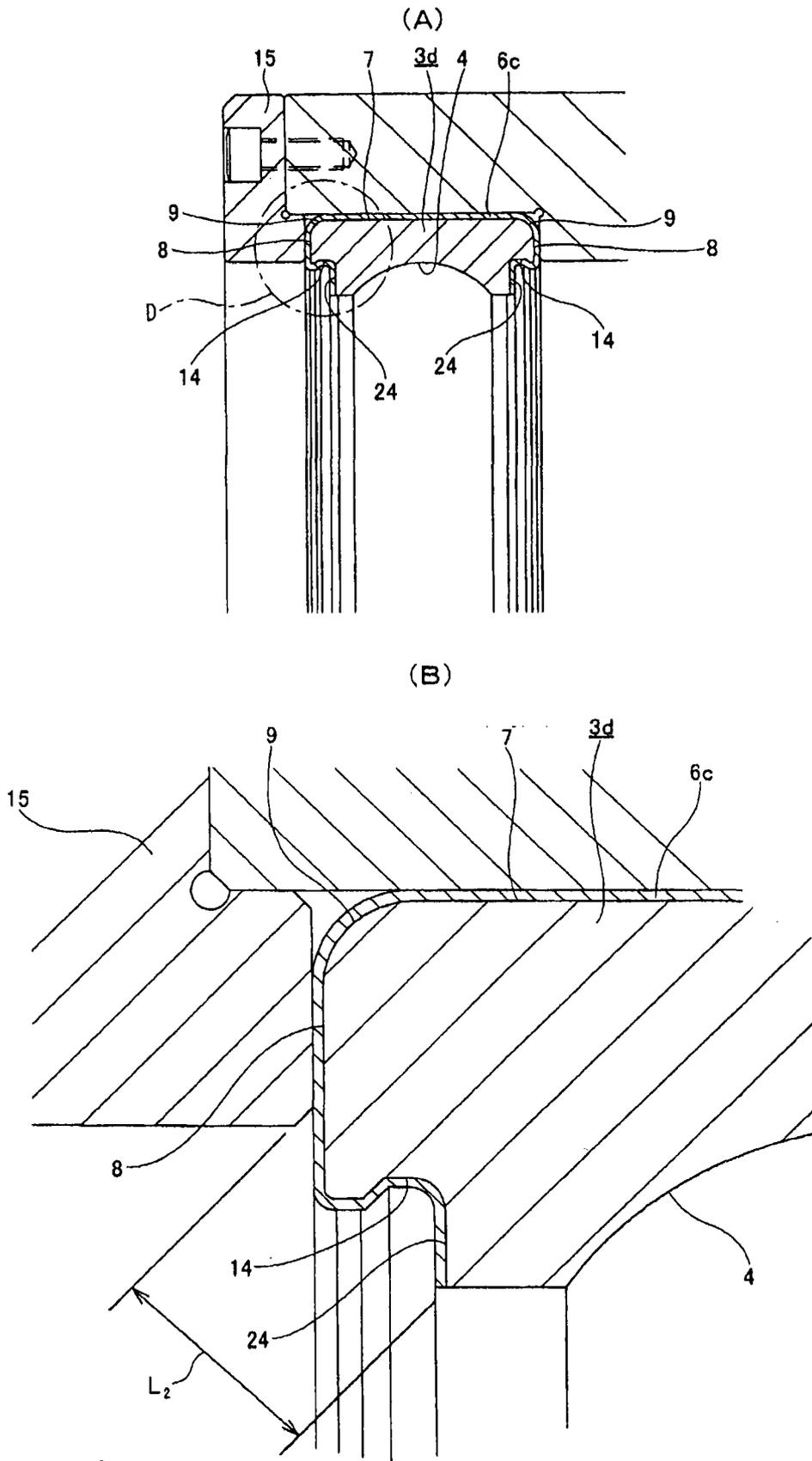


图 6

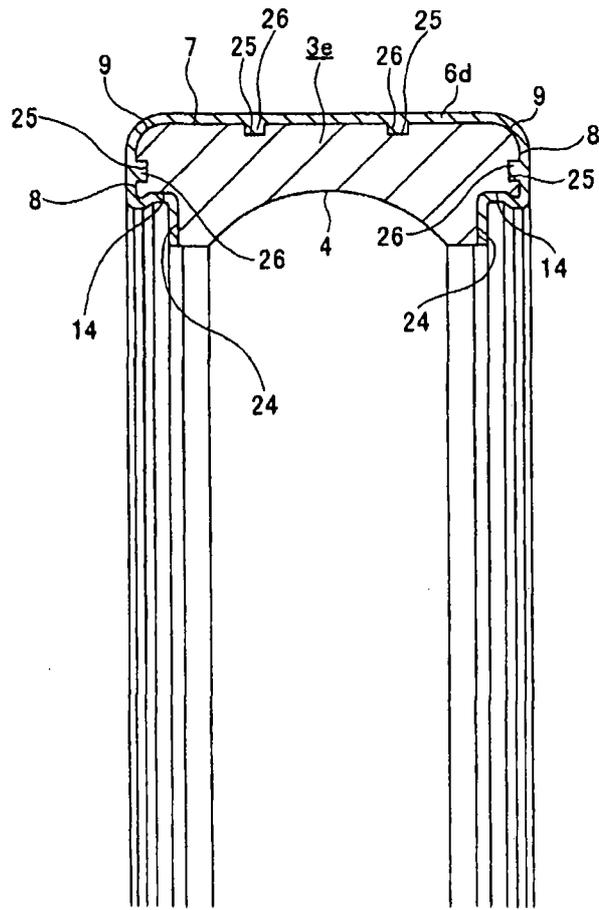


图7

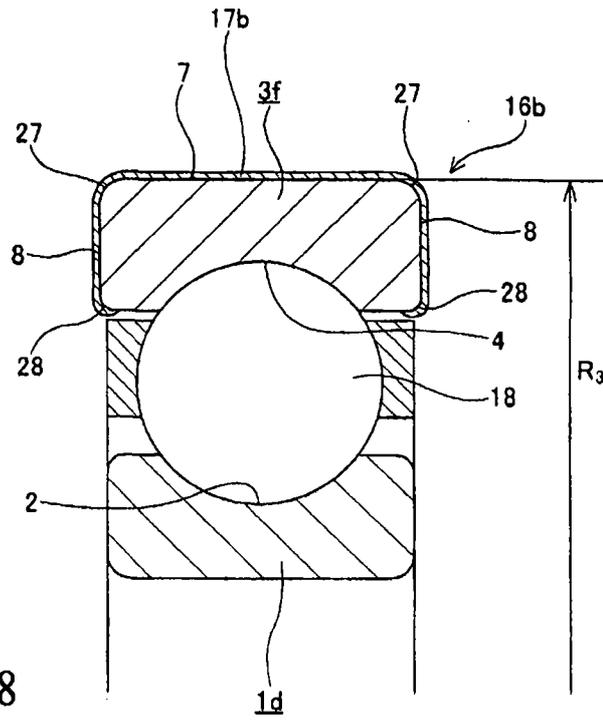


图 8

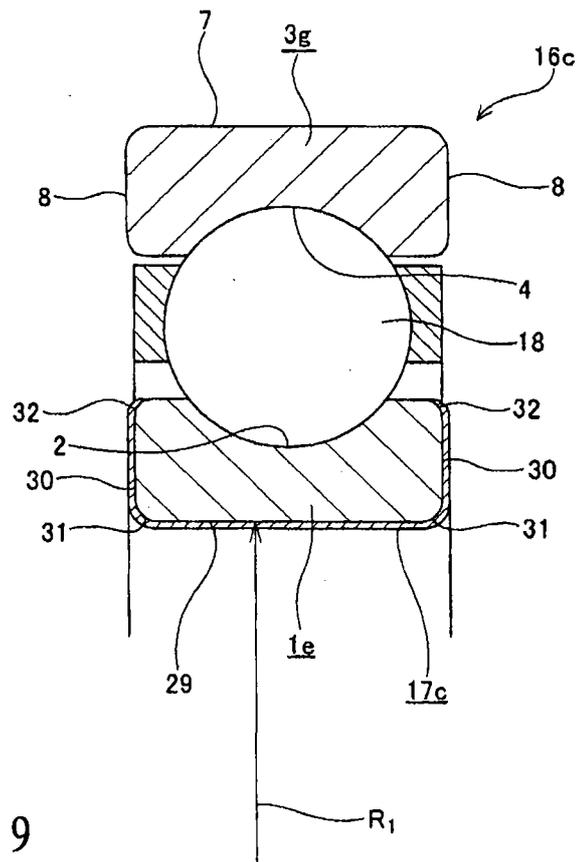


图 9

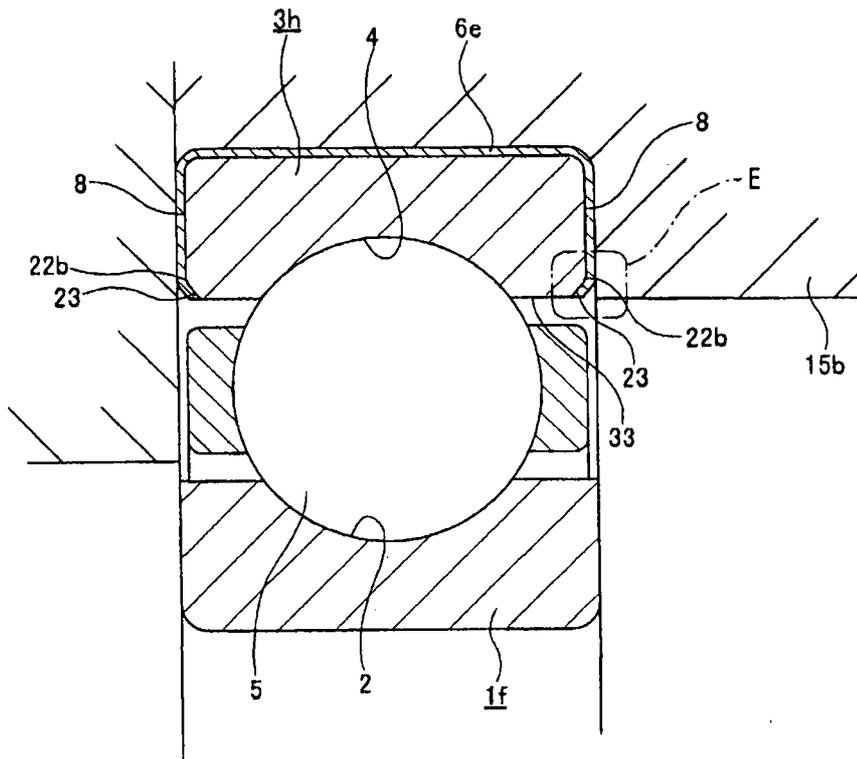


图10

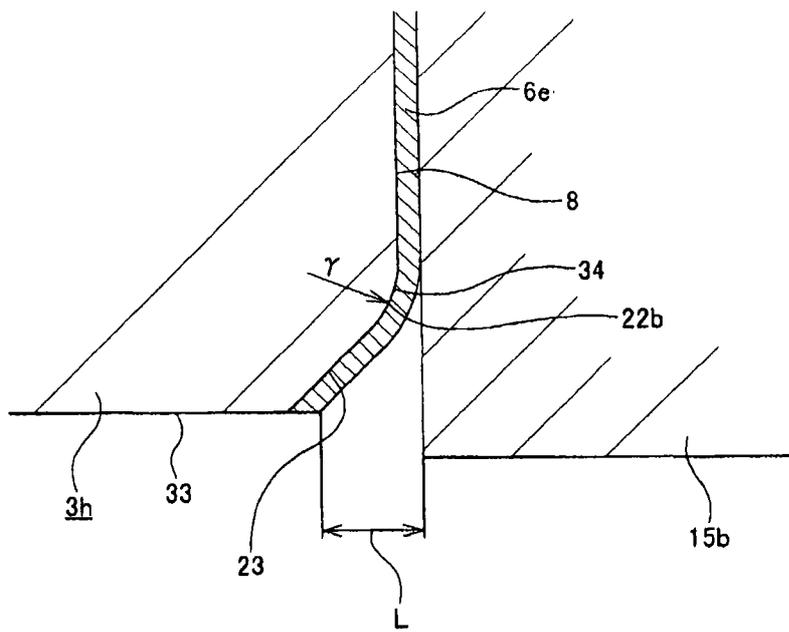


图11

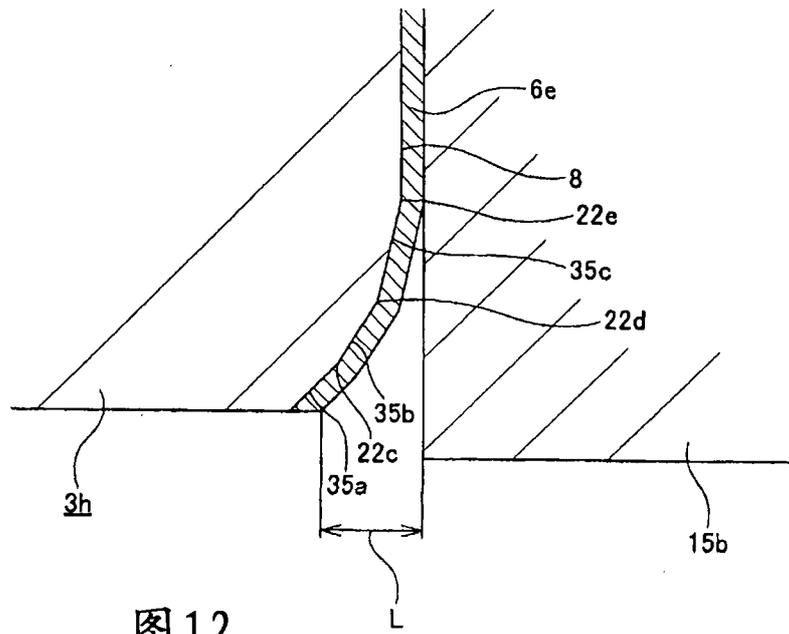


图 12

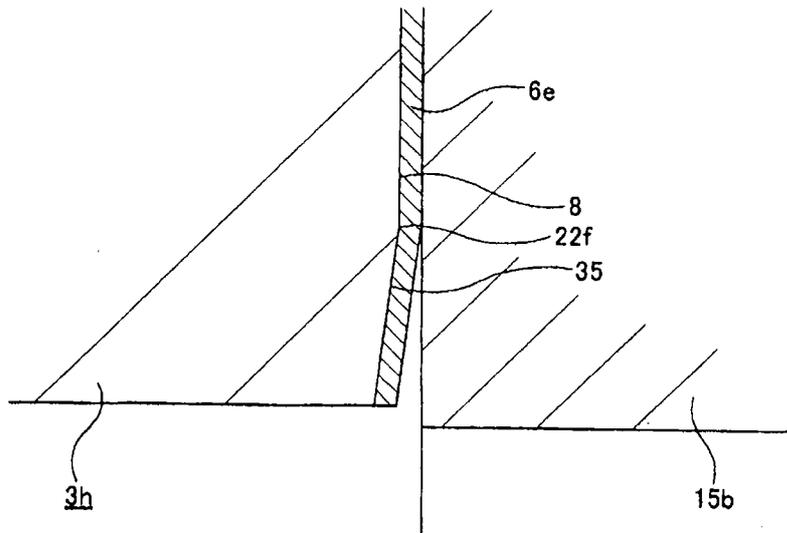


图 13

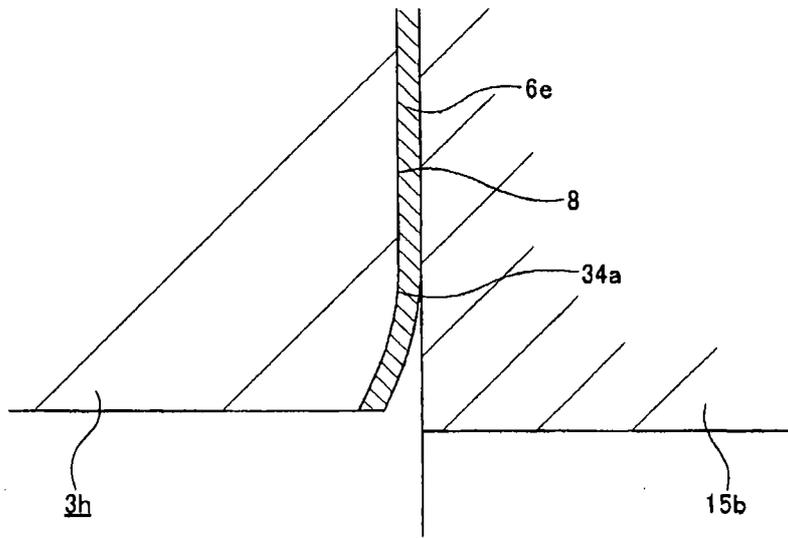


图14

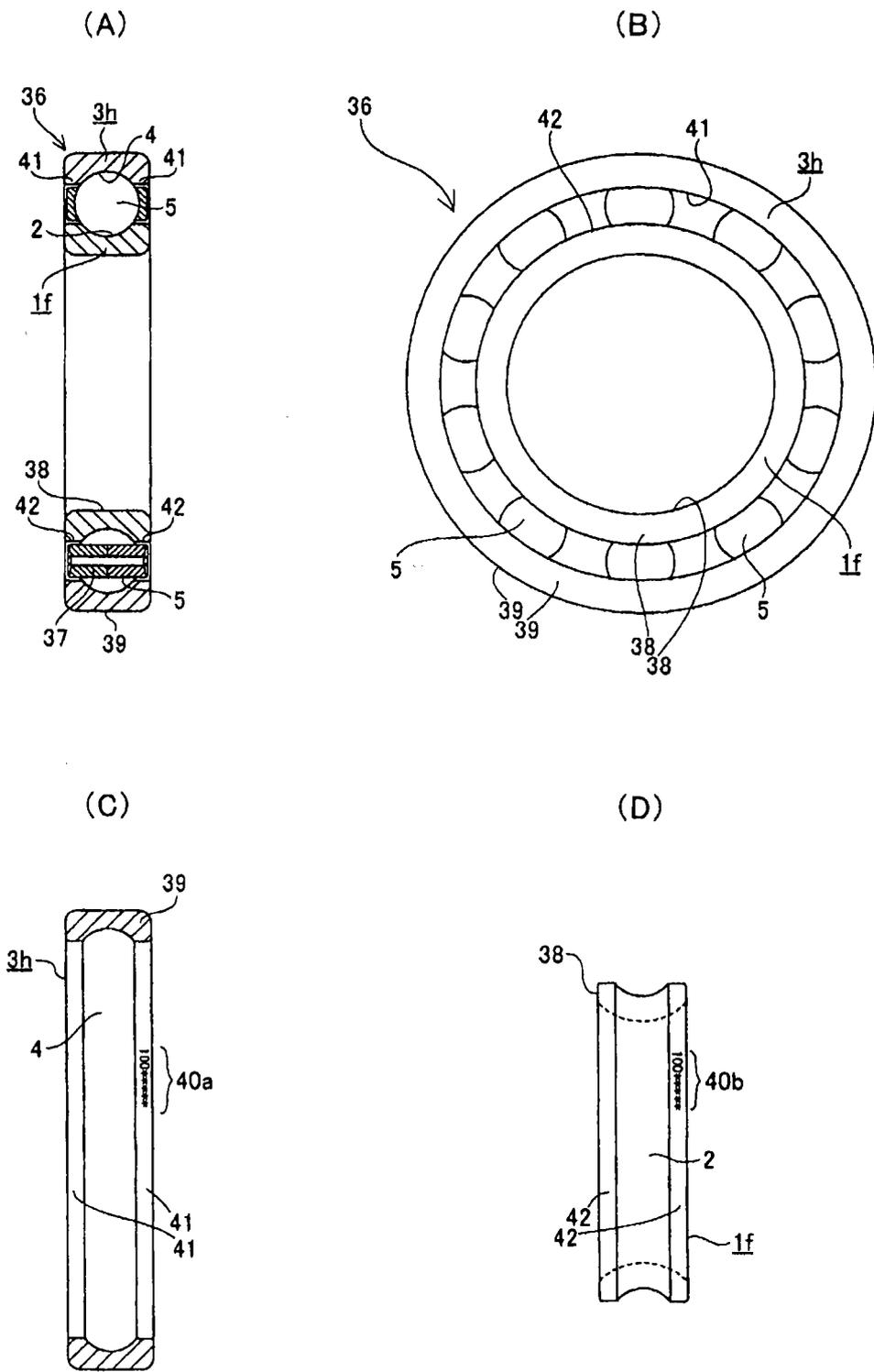


图15

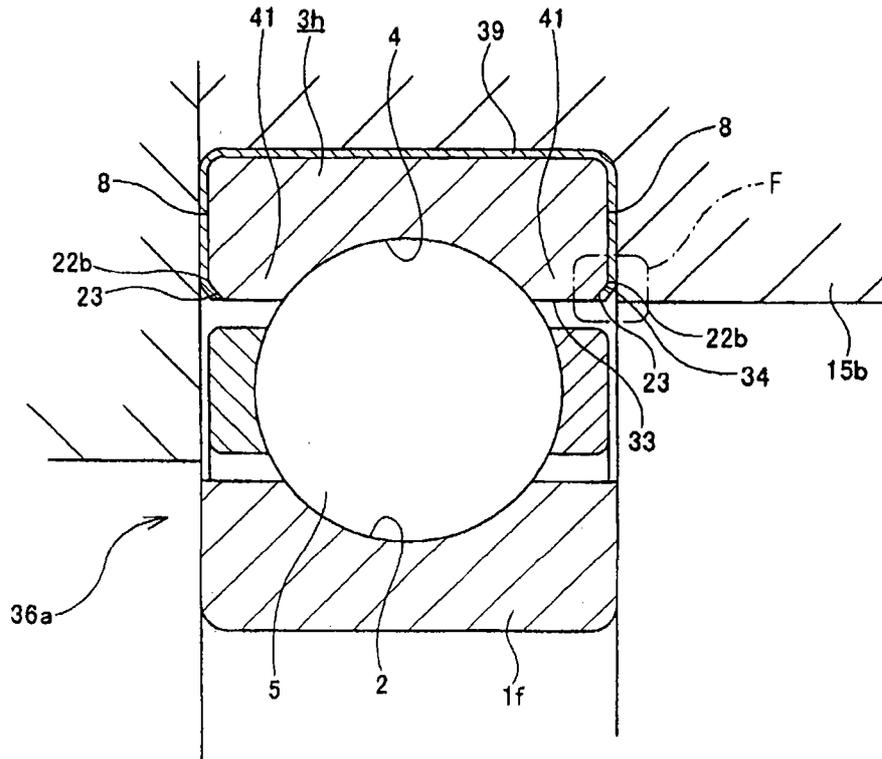


图16

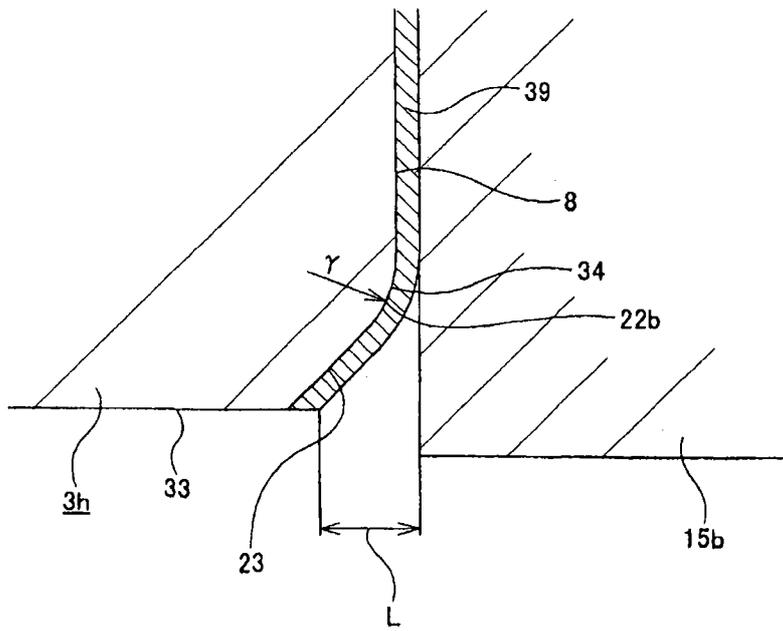


图17

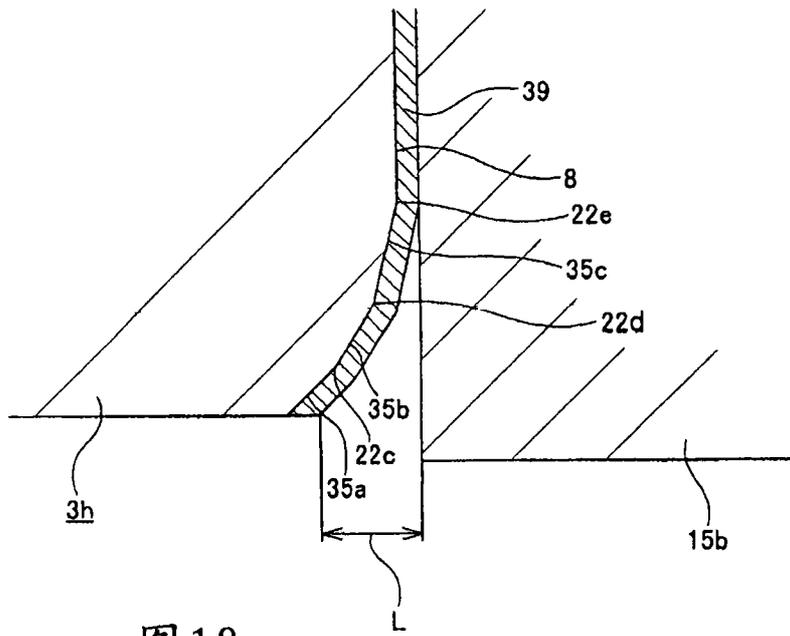


图 18

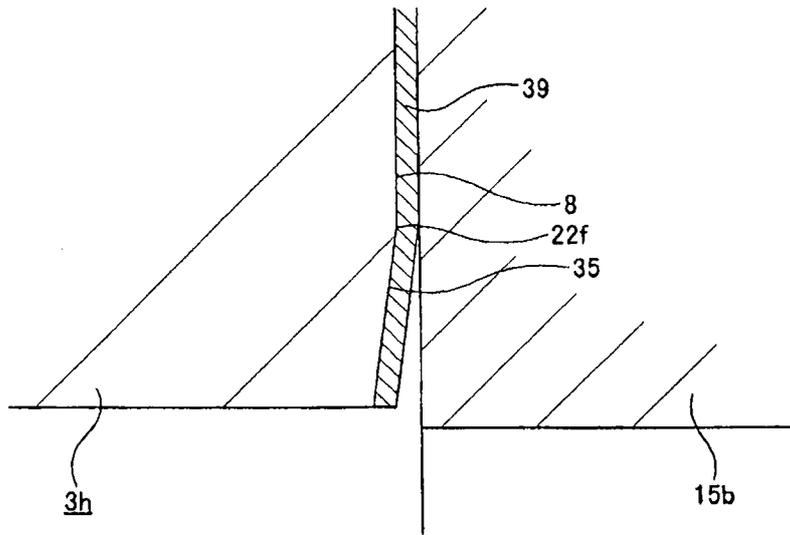


图 19

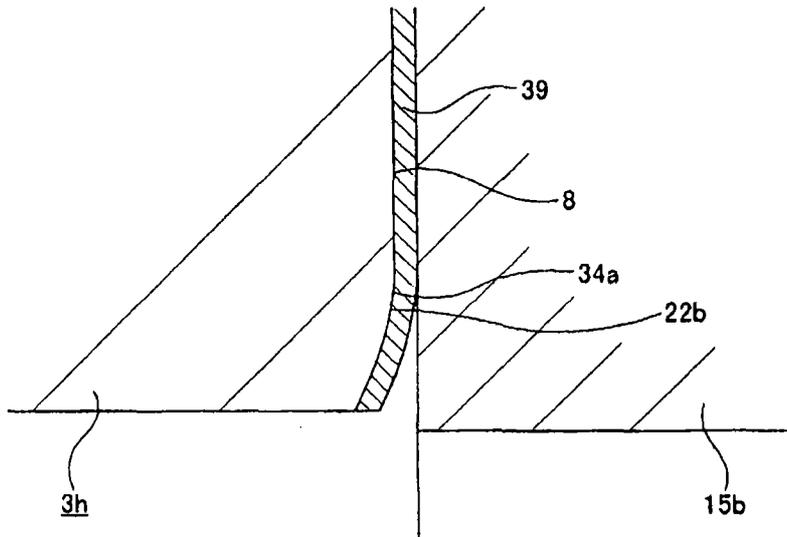


图 20

(A)

(B)

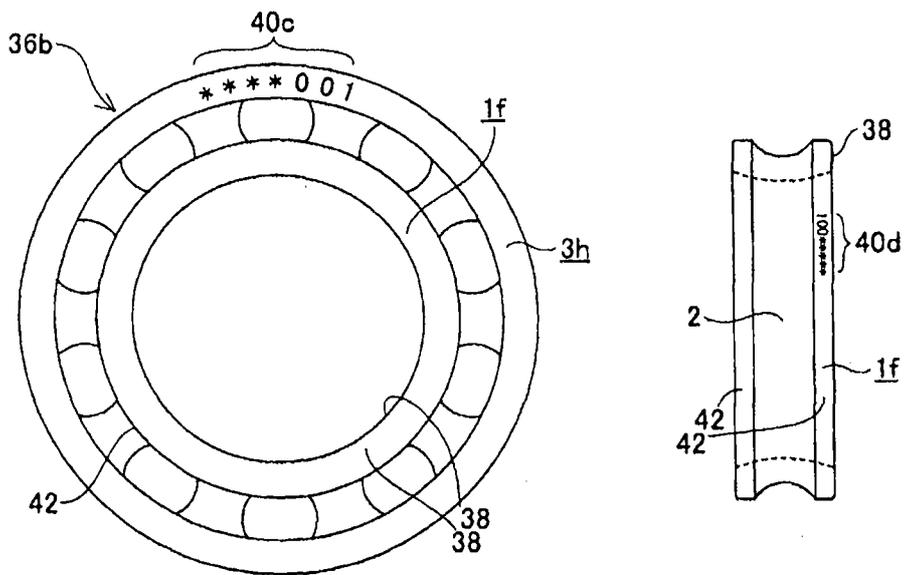


图 21

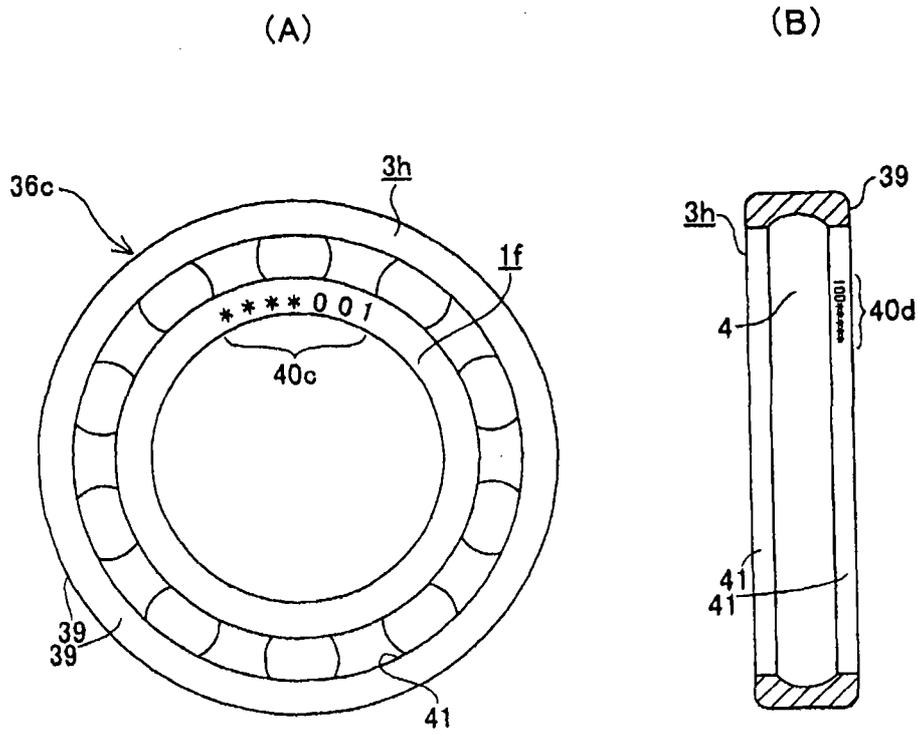


图 22

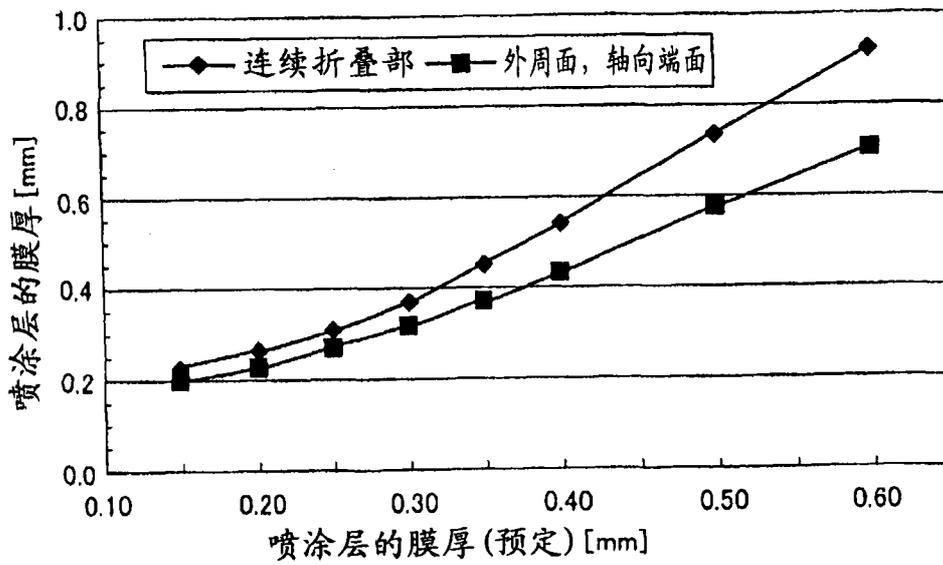


图 23

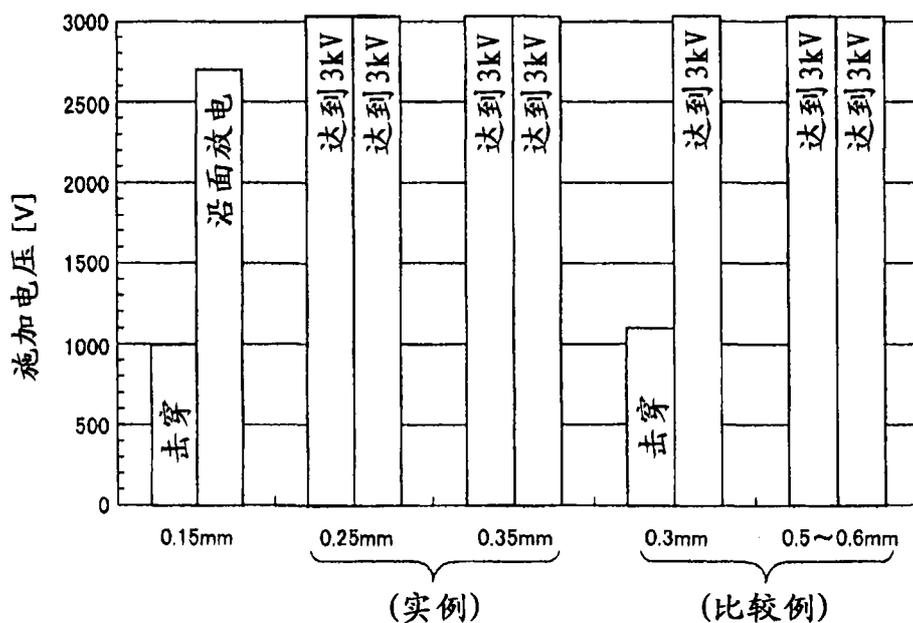


图 24

绝缘层的膜厚  
80°C 温水中浸渍1小时后的绝缘电阻值

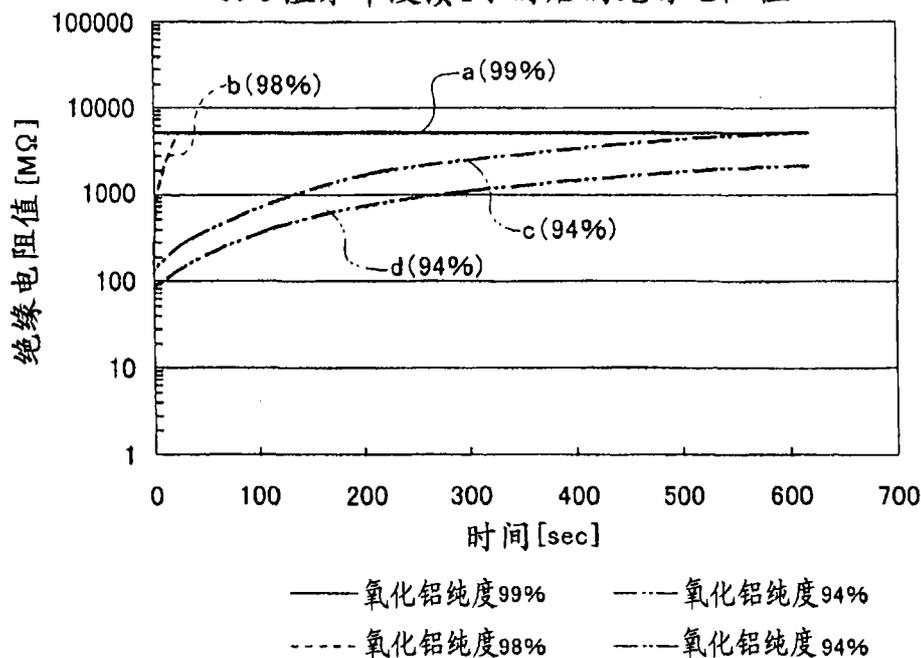


图 25

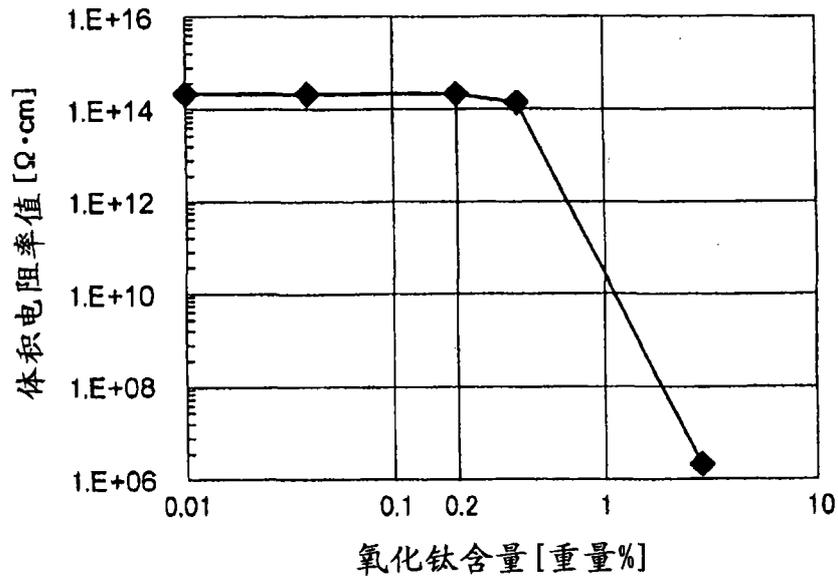


图 26

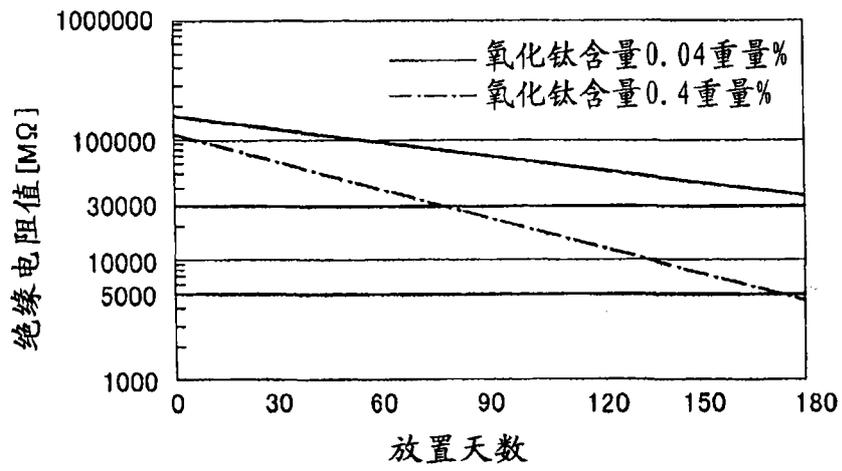


图 27

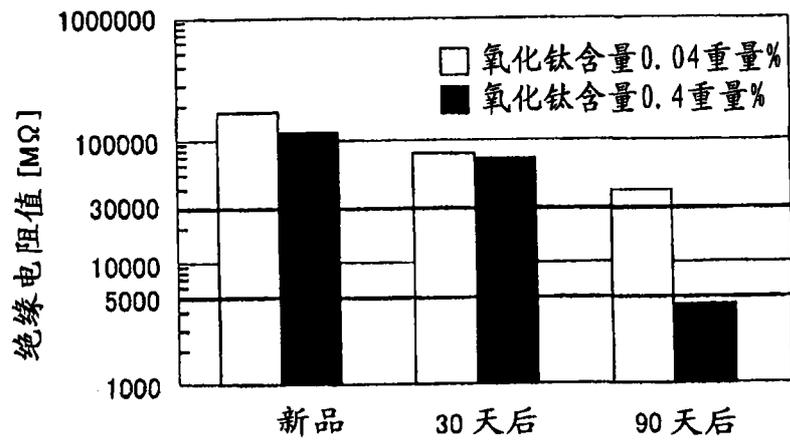


图 28

陶瓷喷镀层厚度: 350 μm

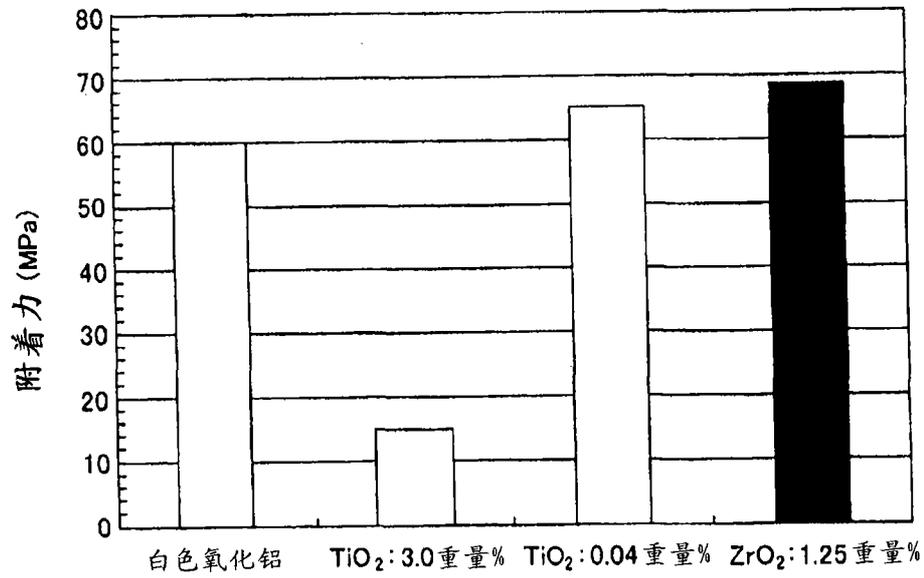


图 29

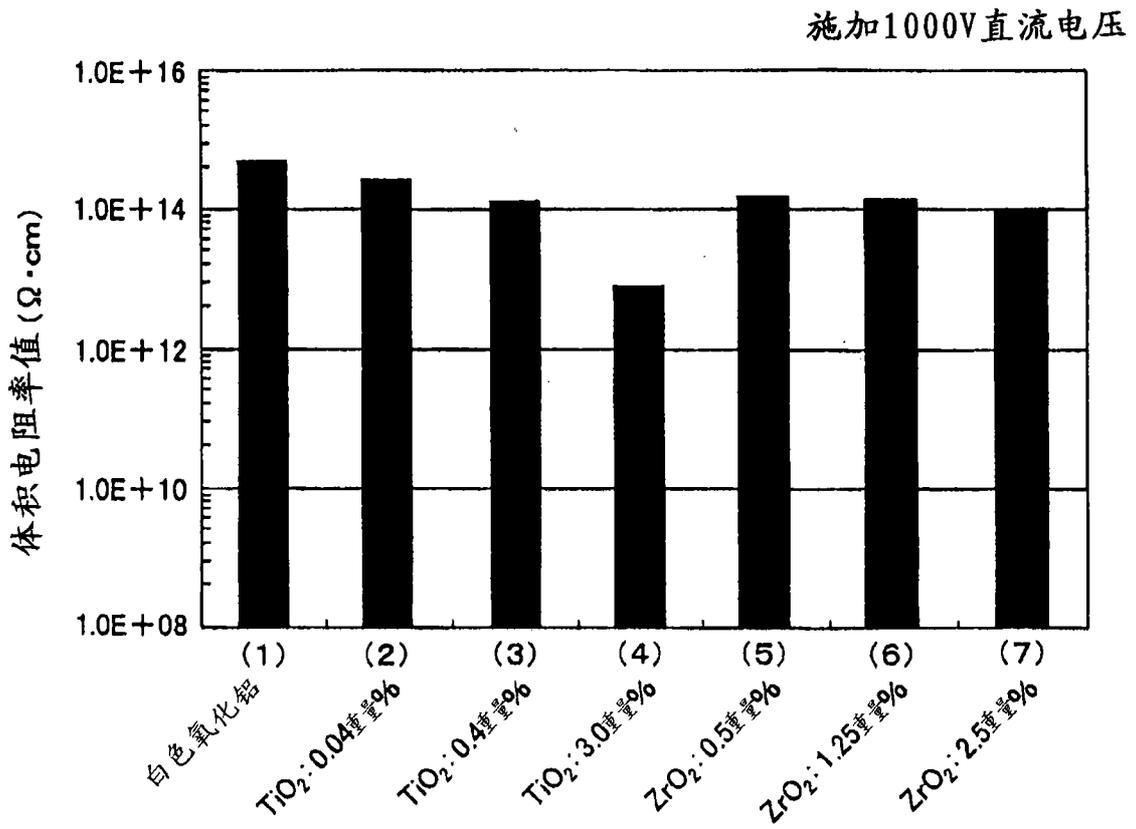


图 30

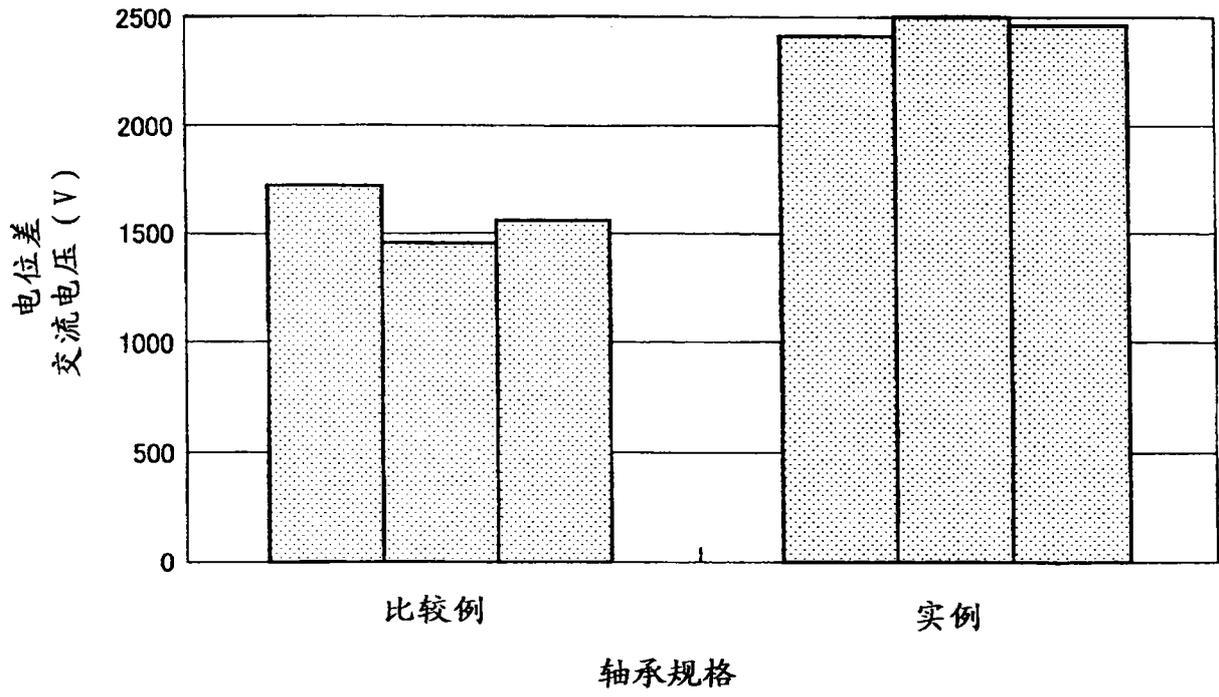


图 31

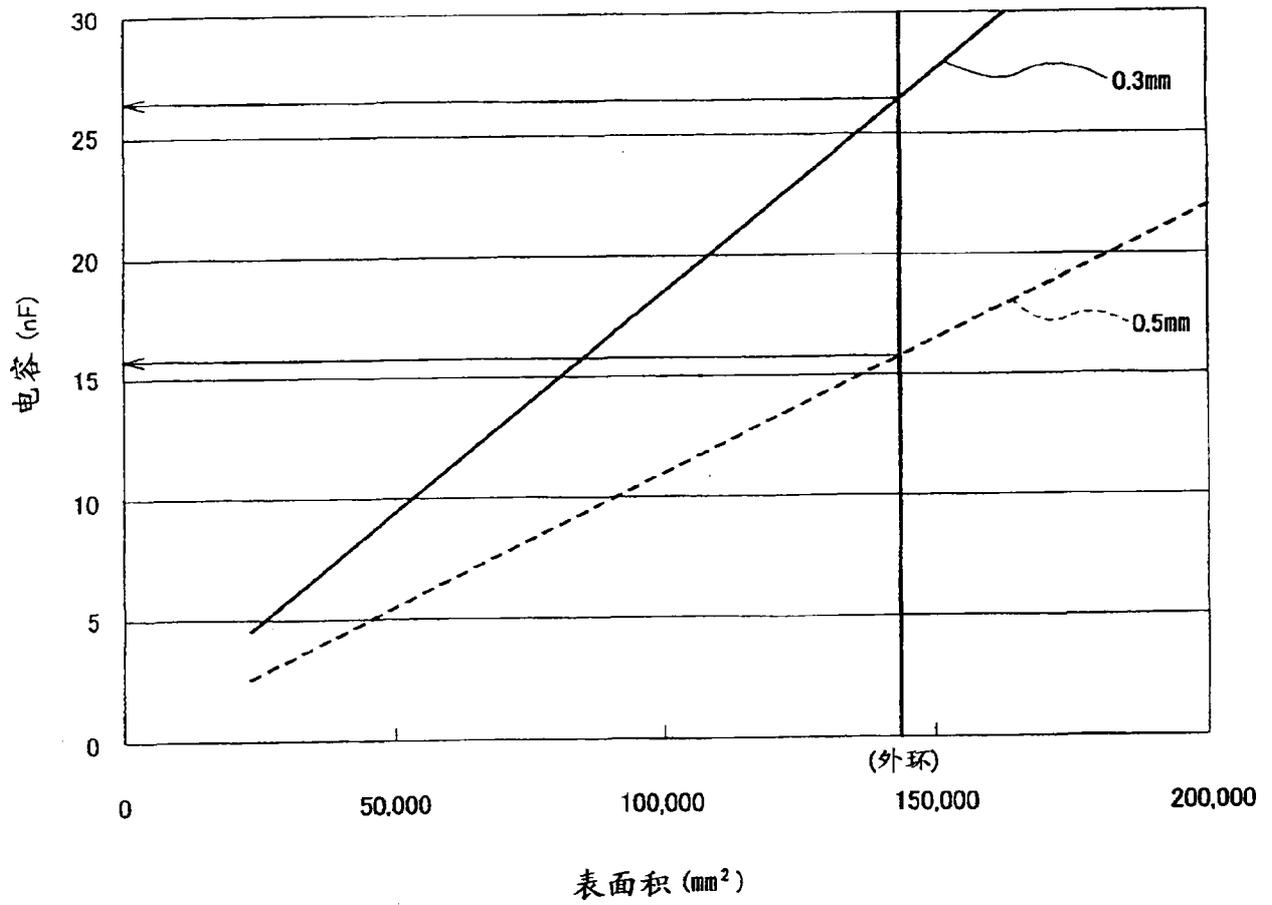


图 32

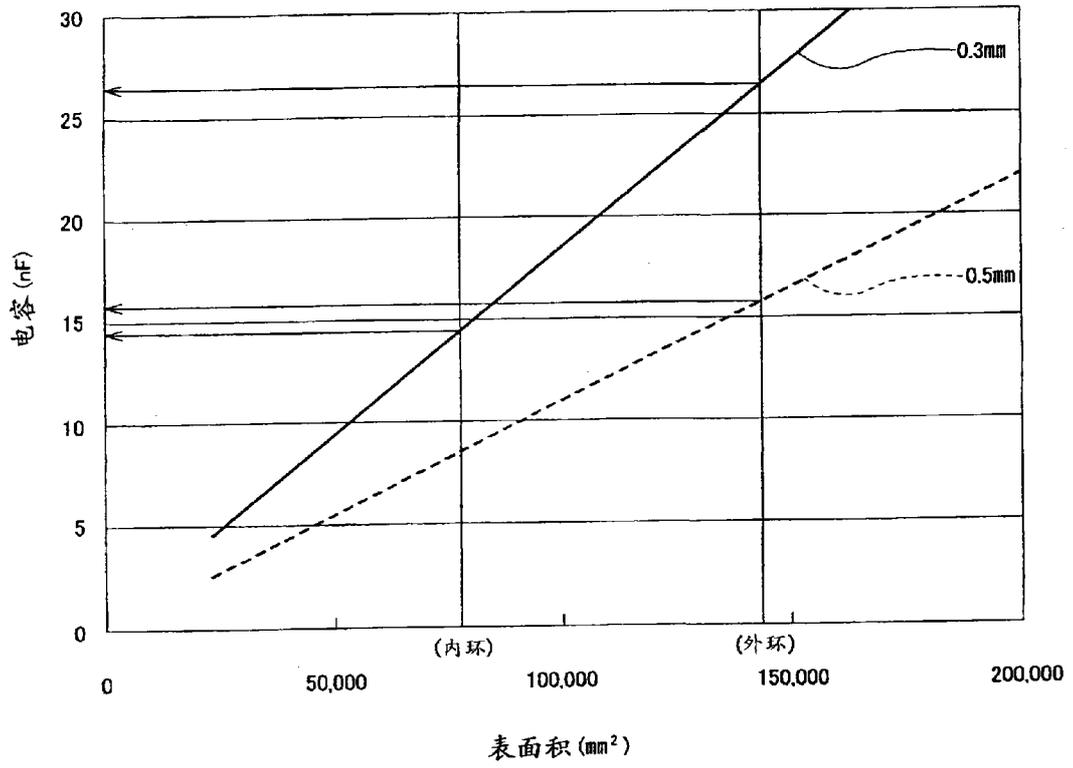


图 33

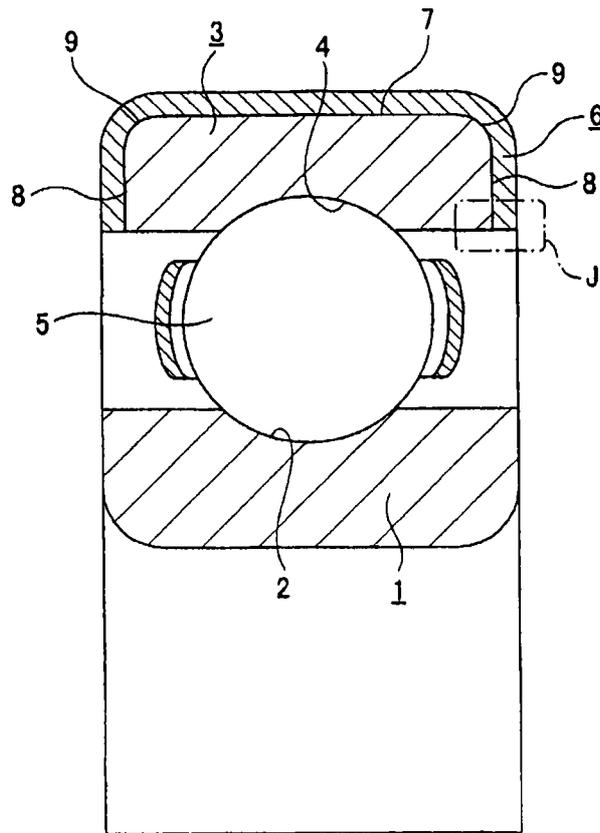


图 34

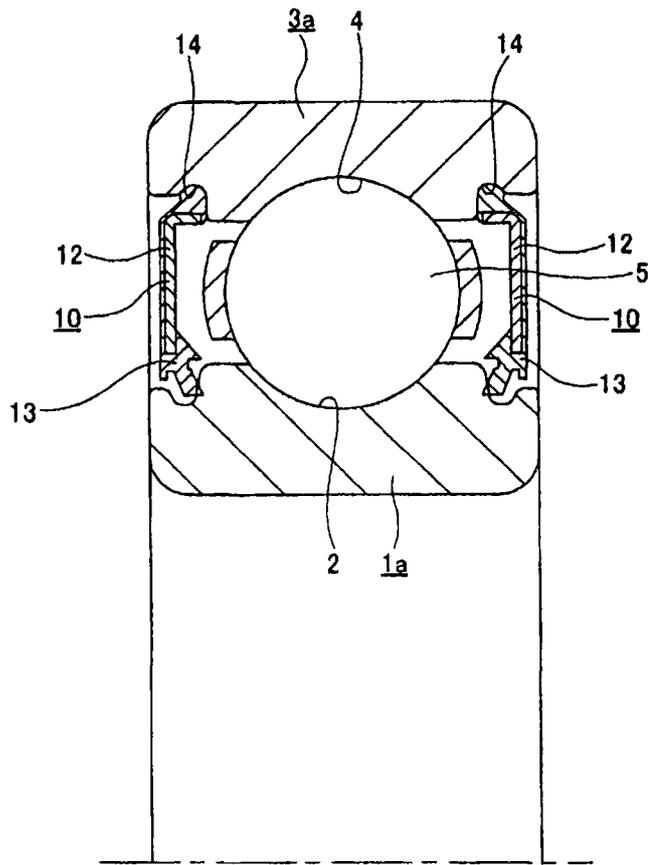


图 35

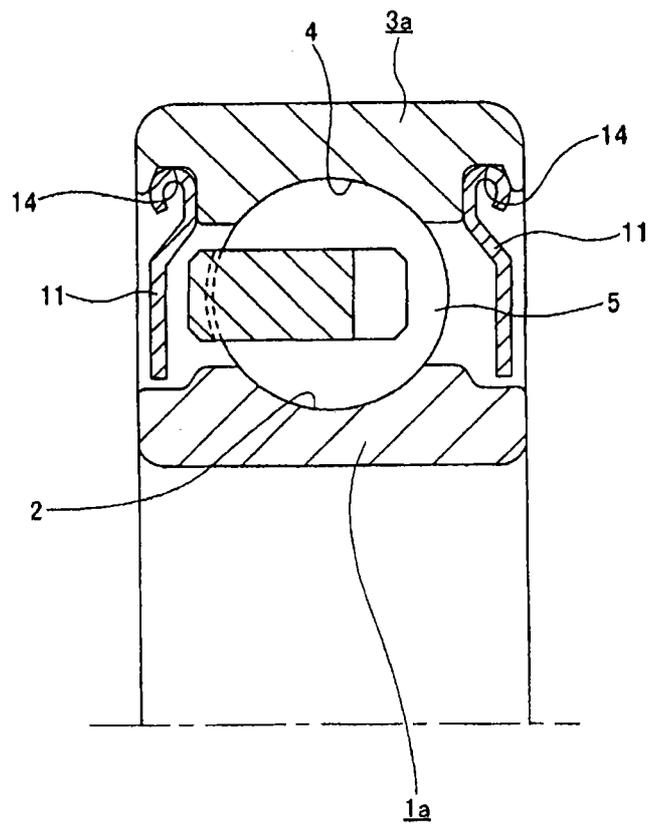


图 36

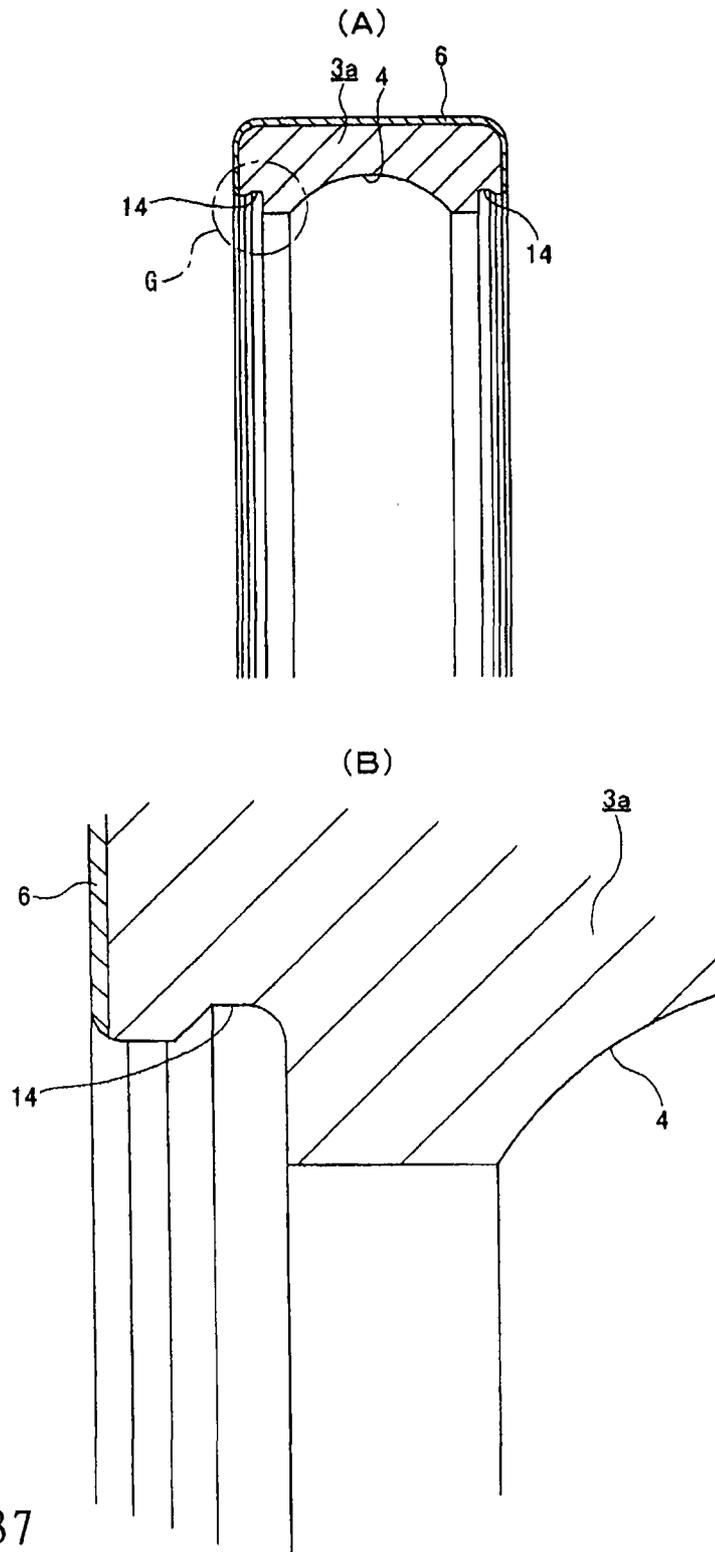
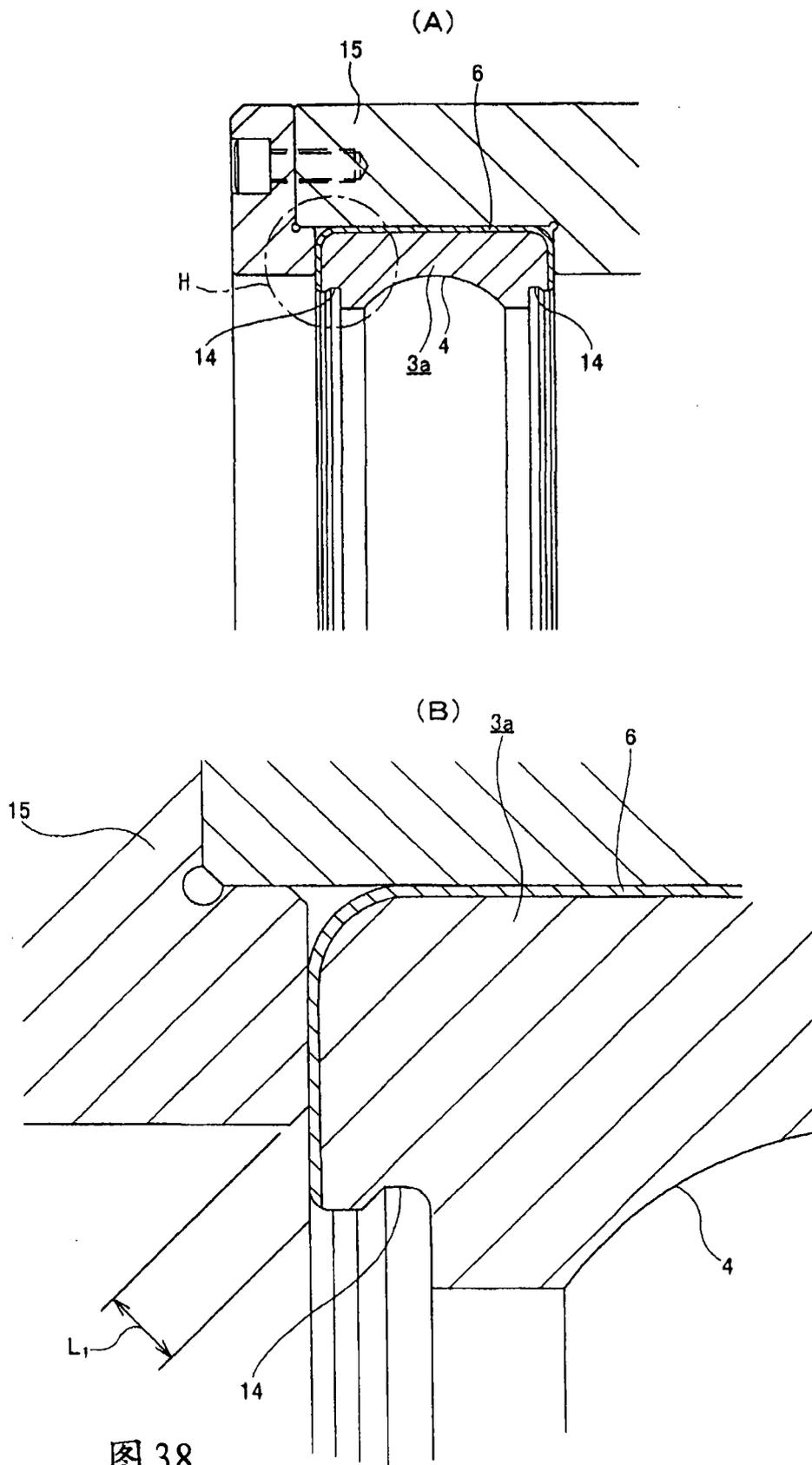


图 37





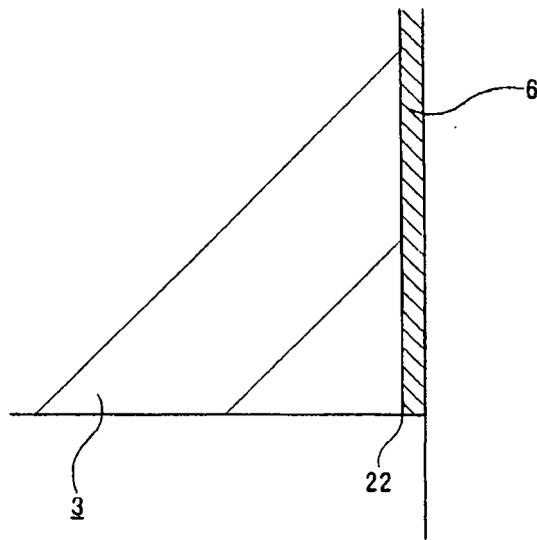


图 41

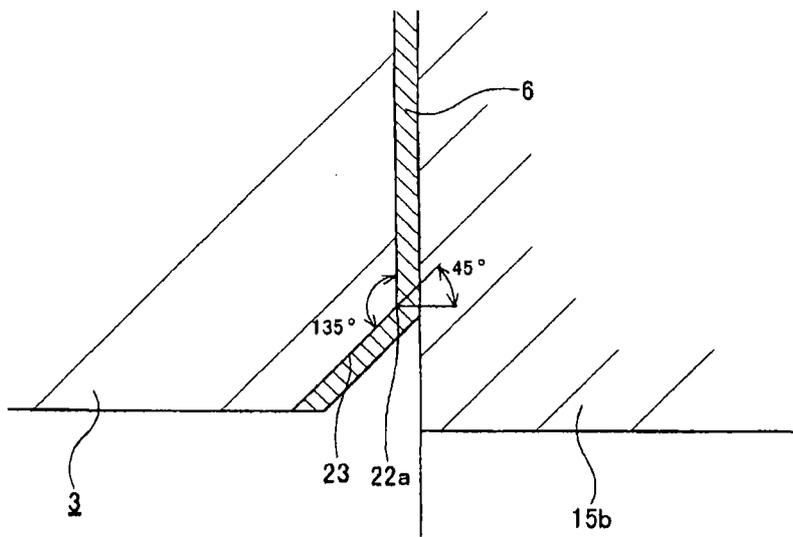


图 42

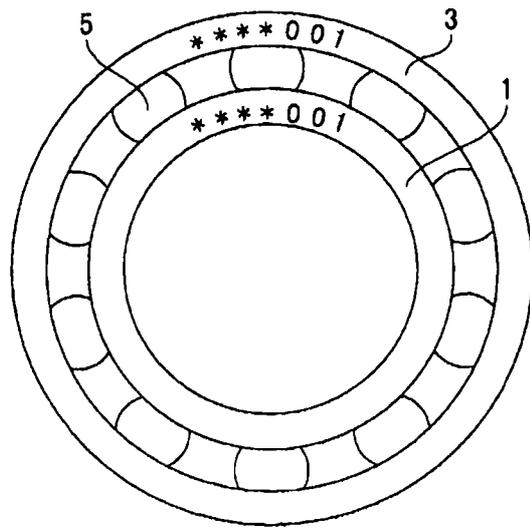


图43