



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114555961 B

(45) 授权公告日 2025. 05. 02

(21) 申请号 202080066852.4

(22) 申请日 2020.09.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114555961 A

(43) 申请公布日 2022.05.27

(30) 优先权数据
2019-175946 2019.09.26 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2022.03.23

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2020/034079 2020.09.09

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/059975 JA 2021.04.01

(73) 专利权人 NTN株式会社
地址 日本大阪府

(72) 发明人 川井崇 大木力 山田昌弘

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

专利代理师 董庆 张佳鑫

(51) Int.Cl.
F16C 33/64 (2006.01)
F16C 33/62 (2006.01)
F16C 33/32 (2006.01)
F16C 33/34 (2006.01)
F16C 19/36 (2006.01)
F16C 19/06 (2006.01)
F16C 19/26 (2006.01)
C21D 9/40 (2006.01)
C21D 9/36 (2006.01)
C21D 1/06 (2006.01)

(56) 对比文件
JP 2019108576 A, 2019.07.04
W0 2018159840 A1, 2018.09.07
CN 112119169 A, 2020.12.22

审查员 熊陈微

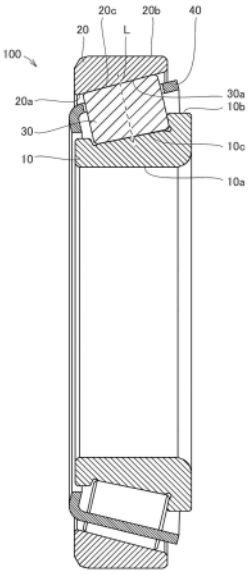
权利要求书2页 说明书10页 附图9页

(54) 发明名称

滚动轴承

(57) 摘要

一种滚动轴承,包括由钢形成的内圈、外圈和滚动体。滚动轴承为圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承或深槽滚珠轴承,且在内圈的内圈滚道面、外圈的外圈滚道面或滚动体的滚动接触面中的至少一方具有淬火硬化层。上述淬火硬化层中的马氏体晶粒的总面积的比率为70%以上。上述马氏体晶粒被分类为第一组和第二组。属于上述第一组马氏体晶粒的平均粒径为0.97 μm以下。在滚动面轴向中央位置的淬火硬化层的表面中,淬火硬化层的硬度为670Hv以上。在滚动面轴向中央位置的淬火硬化层的表面中,淬火硬化层中的奥氏体晶粒的体积比率为30%以下。



1. 一种滚动轴承,包括内圈、外圈和滚动体,所述内圈、所述外圈和所述滚动体中的每一个都由钢构成,所述滚动轴承在所述内圈的内圈滚道面、所述外圈的外圈滚道面和所述滚动体的滚动接触面中的至少一方具有淬火硬化层,其中,

所述滚动轴承是圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承或深槽滚珠轴承,

所述钢是JIS标准中规定的高碳铬轴承钢SUJ2,

所述淬火硬化层包括多个马氏体晶粒和多个奥氏体晶粒,

所述淬火硬化层中的所述多个马氏体晶粒的总面积的比率为70%以上,

所述多个马氏体晶粒被分类为第一组和第二组,

属于所述第一组的所述马氏体晶粒的晶体粒径的最小值大于属于所述第二组的所述马氏体晶粒的晶体粒径的最大值,

属于所述第一组的所述马氏体晶粒的总面积除以所述多个马氏体晶粒的总面积所得的值为0.5以上,

将除具有最小晶体粒径且属于所述第一组的所述马氏体晶粒之外的属于所述第一组的所述马氏体晶粒的总面积除以所述多个马氏体晶粒的总面积而得的值小于0.5,

属于所述第一组的所述马氏体晶粒的平均粒径为0.97 μm 以下,

在滚动面轴向中央位置的所述淬火硬化层的表面中,所述淬火硬化层的硬度为670Hv以上,

在所述滚动面轴向中央位置的所述淬火硬化层的表面中,所述淬火硬化层中的所述奥氏体晶粒的体积比率为30%以下。

2. 如权利要求1所述的滚动轴承,其特征在于,属于所述第一组的所述马氏体晶粒的平均长宽比为2.57以下。

3. 一种滚动轴承,包括内圈、外圈和滚动体,所述内圈、所述外圈和所述滚动体中的每一个都由钢构成,所述滚动轴承在所述内圈的内圈滚道面、所述外圈的外圈滚道面和所述滚动体的滚动接触面中的至少一方具有淬火硬化层,其中,

所述滚动轴承是圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承或深槽滚珠轴承,

所述钢是JIS标准中规定的高碳铬轴承钢SUJ2,

所述淬火硬化层包括多个马氏体晶粒和多个奥氏体晶粒,

所述淬火硬化层中的所述多个马氏体晶粒的总面积的比率为70%以上,

所述多个马氏体晶粒被分类为第三组和第四组,

属于所述第三组的所述马氏体晶粒的晶体粒径的最小值大于属于所述第四组的所述马氏体晶粒的晶体粒径的最大值,

属于所述第三组的所述马氏体晶粒的总面积除以所述多个马氏体晶粒的总面积所得的值为0.7以上,

将除具有最小晶体粒径且属于所述第三组的所述马氏体晶粒之外的属于所述第三组的所述马氏体晶粒的总面积除以所述多个马氏体晶粒的总面积而得的值小于0.7,

属于所述第三组的所述马氏体晶粒的平均粒径为0.75 μm 以下,

在滚动面轴向中央位置的所述淬火硬化层的表面中,所述淬火硬化层的硬度为670Hv以上,

在所述滚动面轴向中央位置的所述淬火硬化层的表面中,所述淬火硬化层中的奥氏体

晶粒的体积比率为30%以下。

4.如权利要求3所述的滚动轴承,其特征在于,属于所述第三组的马氏体晶粒的平均长宽比为2.45以下。

5.如权利要求1所述的滚动轴承,其特征在于,
所述淬火硬化层含有氮,并且

在所述表面和距离所述表面10 μm 的位置之间,所述淬火硬化层的平均氮浓度为0.05质量%以上。

6.如权利要求1所述的滚动轴承,其特征在于,在所述表面和距离所述表面10 μm 的位置之间,所述淬火硬化层的平均碳浓度为0.5质量%以上。

滚动轴承

技术领域

[0001] 本发明涉及一种滚动轴承。更具体地,本发明涉及圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承或深槽滚珠轴承。

背景技术

[0002] 滚动轴承的滚动疲劳寿命通过如专利文献1(日本专利第5592540号公报)所记载的对轴承部件的表面(内圈和外圈各自的滚道面以及滚动体的滚动接触面)进行碳氮共渗来提高。另外,滚动轴承的滚动疲劳寿命通过如专利文献2(日本专利第3905430号公报)中记载的那样使轴承部件表面的原奥氏体晶粒微细化来提高。

[0003] 引用文献列表

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本专利第5592540号公报

[0006] 专利文献2:日本专利第3905430号公报

发明内容

[0007] 发明所要解决的技术问题

[0008] 用于轴承部件的钢通常进行淬火处理。即,在轴承部件的表面形成以马氏体相为主体的组织的淬火硬化层。但是,以往不知道马氏体晶粒的状态如何影响轴承部件的滚动疲劳寿命。

[0009] 在汽车的变速器或差速器中,为了提高燃料效率而倾向于使用低粘度的润滑油,或者倾向于减少单元中的润滑油量,并且这种趋势也被认为在未来会持续。因此,在这样的严酷润滑状态下使用的滚动轴承中,需要淬火硬化层的表层材料基体由更坚固的组织构成。此外,随着单元的小型化,需要减小滚动轴承的尺寸(外径或宽度);但是,由于电机辅助或涡轮机构的设置,输出趋于高,并且对滚动轴承的施加负载(施加负载与轴承额定负载的比率)趋于增加,因此需要滚动轴承的使用寿命更长。此外,鉴于未来城市汽车共享的普及,汽车的使用频率和行驶距离趋于增加,因此比以往任何时候都更希望滚动轴承具有更长的寿命。

[0010] 在滚动面轴向的中央位置,对滚动面(滚道面或滚动接触面)施加最大接触面压力。因此,为了实现滚动轴承的长寿命化,改善滚动面轴向中央位置的滚动面的淬火硬化层的材料组织尤为重要。

[0011] 本发明是鉴于现有技术的上述问题而做出的。更具体地,本发明提供一种具有改进的滚动疲劳寿命的滚动轴承。

[0012] 解决问题的方案

[0013] 根据本发明第一实施方式的滚动轴承是圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承或深槽滚珠轴承,包括内圈、外圈和滚动体,内圈、外圈和滚动体均由钢构成,滚动轴承在内圈的内圈滚道面、外圈的外圈滚道面和滚动体的滚动接触面中的至少一方具有淬火硬化层。淬火硬化

层包括多个马氏体晶粒和多个奥氏体晶粒。淬火硬化层中的多个马氏体晶粒的总面积的比率为70%以上。多个马氏体晶粒被分类为第一组和第二组。属于第一组的马氏体晶粒的晶体粒径的最小值大于属于第二组的马氏体晶粒的晶体粒径的最大值。属于第一组的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积所得的值为0.5以上。将除具有最小晶体粒径且属于第一组的马氏体晶粒之外的属于第一组的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积而得的值小于0.5。属于第一组的马氏体晶粒的平均粒径为0.97 μm 以下。在滚动面轴向中央位置的淬火硬化层的表面中,淬火硬化层的硬度为670Hv以上。在滚动面轴向中央位置的淬火硬化层的表面中,淬火硬化层中的奥氏体晶粒的体积比率为30%以下。

[0014] 在根据本发明第一实施方式的滚动轴承中,属于第一组的马氏体晶粒的平均长宽比可以为2.57以下。

[0015] 根据本发明第二实施方式的滚动轴承是圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承或深槽滚珠轴承,包括内圈、外圈和滚动体,内圈、外圈和滚动体均由钢构成,滚动轴承在内圈的内圈滚道面、外圈的外圈滚道面和滚动体的滚动接触面中的至少一方具有淬火硬化层。淬火硬化层包括多个马氏体晶粒和多个奥氏体晶粒。淬火硬化层中的多个马氏体晶粒的总面积的比率为70%以上。多个马氏体晶粒被分类为第三组和第四组。属于第三组的马氏体晶粒的晶体粒径的最小值大于属于第四组的马氏体晶粒的晶体粒径的最大值。属于第三组的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积所得的值为0.7以上。将除具有最小晶体粒径且属于第三组的马氏体晶粒之外的属于第三组的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积而得的值小于0.7。属于第三组的马氏体晶粒的平均粒径为0.75 μm 以下。在滚动面轴向中央位置的淬火硬化层的表面中,淬火硬化层的硬度为670Hv以上。在滚动面轴向中央位置的淬火硬化层的表面中,淬火硬化层中的奥氏体晶粒的体积比率为30%以下。

[0016] 在根据本发明第二实施方式的滚动轴承中,属于第三组的马氏体晶粒的平均长宽比可以为2.45以下。

[0017] 在根据本发明的第一实施方式和第二实施方式中的每一个的滚动轴承中,淬火硬化层可以包含氮。在表面和距离表面10 μm 的位置之间,淬火硬化层的平均氮浓度可以在0.05质量%以上。

[0018] 在根据本发明的第一实施方式和第二实施方式中的每一个的滚动轴承中,在表面和距离表面10 μm 的位置之间,淬火硬化层的平均碳浓度可以在0.5质量%以上。

[0019] 在根据本发明的第一实施方式和第二实施方式中的每一个的滚动轴承中,钢可以是JIS标准中规定的高碳铬轴承钢SUJ2。

[0020] 发明的有益效果

[0021] 根据本发明的第一实施方式和第二实施方式的滚动轴承,能够提高滚动疲劳寿命。

[0022] 附图简要说明

[0023] 图1是滚动轴承100的剖视图。

[0024] 图2是内圈滚道面10c附近的内圈10的放大剖视图。

[0025] 图3是滚动轴承200的剖视图。

[0026] 图4是滚动轴承300的剖视图。

[0027] 图5是表示内圈10的制造方法的工序图。

- [0028] 图6显示了样品1的截面的EBSD图像。
- [0029] 图7显示了样品2的截面的EBSD图像。
- [0030] 图8显示了样品3的截面的EBSD图像。
- [0031] 图9是表示马氏体晶粒的平均粒径与滚动疲劳寿命的关系的图表。
- [0032] 图10是表示马氏体晶粒的平均长宽比与滚动疲劳寿命的关系的图表。
- [0033] 图11是表示最大接触面压力与压痕深度之间的关系的关系的图表。
- [0034] 图12是表示马氏体晶粒的平均粒径与静载荷容量的关系的图表。
- [0035] 图13是表示马氏体晶粒的平均长宽比与静载荷容量的关系的图表。
- [0036] 实施方式的描述
- [0037] 将参照附图描述实施方式的详细内容。在以下的图中,对相同或相当的部分标注相同的附图标记,并省略相同的说明。
- [0038] (实施方式的滚动轴承的结构)
- [0039] 以下,对实施方式的滚动轴承(以下称为“滚动轴承100”)的结构进行说明。
- [0040] 图1是滚动轴承100的剖视图。如图1所示,滚动轴承100是圆锥滚子轴承。滚动轴承100包括内圈10、外圈20、滚动体30和保持器40。
- [0041] 内圈10呈环状。内圈10具有内周面10a和外周面10b。内周面10a和外周面10b分别沿着内圈10的周向延伸。内周面10a面向内圈10的中心轴侧,外周面10b面向内圈10的与中心轴相反一侧。即,外周面10b是在内圈10的径向上与内周面10a相反的面。外周面10b包括内圈滚道面10c。内圈滚道表面10c与每个滚动体30接触。
- [0042] 外圈20呈环状形状。外圈20具有内周面20a和外周面20b。内周面20a和外周面20b分别沿着外圈20的周向延伸。内周面20a面向外圈20的中心轴侧,外周面20b面向外圈20的与中心轴相反一侧。即,外周面20b是在外圈20的径向上与内周面20a相反的面。内周面20a包括外圈滚道面20c。外圈滚道表面20c与每个滚动体30接触。外圈20设置在内圈10的外部,使得内周面20a面对外周面10b。
- [0043] 滚动体30具有圆台形状。即,滚动体30是圆锥滚子。滚动体30具有外周面30a。外周面30a用作滚动体30的滚动接触面。滚动体30设置在内圈10和外圈20之间,使得外周面30a与内圈滚道表面10c和外圈滚道表面20c接触。
- [0044] 内圈10、外圈20和滚动体30均由钢构成。该钢例如是JIS标准(JIS G4805:2008)中规定的高碳铬轴承钢SUJ2。但是,内圈10、外圈20和滚动体30中的每一个可以由另一种钢构成(JIS标准规定的高碳铬轴承钢SUJ3;ASTM标准规定的52100;DIN标准规定的100Cr6;或GB标准规定的GCr15)。内圈10、外圈20和滚动体30可以由不同的钢构成。
- [0045] 滚动轴承100的滚动面轴向中央位置是通过沿着滚动体30的中心轴方向上的中心且与该中心轴正交的假想直线L(图1中用虚线表示)与内圈滚道面10c、外圈滚道面20c或外周面30a(滚动体30的滚道面)相交的位置。从另一观点来看,也可以说滚动面轴向中央位置是施加最大接触面压力的滚动面(内圈滚道面10c、外圈滚道面20c和外周面30a)上的位置。
- [0046] 保持器40保持滚动体30,使得在保持器40的周向上相邻的2个滚动体30的间隔在规定范围内。保持器40设置在内圈10和外圈20之间。
- [0047] 图2是内圈滚道面10c附近的内圈10的放大剖视图。如图2所示,内圈10在内圈滚道面10c具有淬火硬化层50。淬火硬化层50是通过进行淬火而硬化的层。淬火硬化层50包括多

个马氏体晶粒。

[0048] 当第一马氏体晶粒的晶体取向与和第一马氏体晶粒相邻的第二马氏体晶粒的晶体取向的偏差在 15° 以上时,第一马氏体晶粒和第二马氏体晶粒为不同的马氏体晶粒。另一方面,当第一马氏体晶粒的晶体取向与和第一马氏体晶粒相邻的第二马氏体晶粒的晶体取向之间的偏差小于 15° 时,第一马氏体晶粒和第二马氏体晶粒构成一个马氏体晶粒。

[0049] 淬火硬化层50具有主要由马氏体相构成的组织。更具体而言,淬火硬化层50中的多个马氏体晶粒的总面积的比率为70%以上。淬火硬化层50中的多个马氏体晶粒的总面积的比率可以为80%以上。

[0050] 除了马氏体晶粒之外,淬火硬化层50还包括奥氏体晶粒、铁素体晶粒和渗碳体(Fe_3C)晶粒。淬火硬化层50中的奥氏体晶粒的体积比率优选为30%以下。淬火硬化层50中的奥氏体晶粒的体积比率更优选为20%以下。

[0051] 需要说明的是,淬火硬化层50中的奥氏体晶粒的体积比率是通过X射线衍射法测定的。更具体而言,淬火硬化层50中的奥氏体晶粒的体积比率基于淬火硬化层中包含的奥氏体相的X射线衍射强度与其他相的X射线衍射强度的比值来计算。淬火硬化层50中的奥氏体晶粒的体积比率是在滚动面轴向中央位置处的淬火硬化层50的表面(内圈滚动面10c)与距离该表面 $50\mu\text{m}$ 的位置之间测定的。

[0052] 多个马氏体晶粒被分类为第一组和第二组。属于第一组的马氏体晶粒的晶体粒径的最小值大于属于第二组的马氏体晶粒的晶体粒径的最大值。

[0053] 属于第一组的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积(属于第一组的马氏体晶粒的总面积与属于第二组的马氏体晶粒的总面积之和)所得的值为0.5以上。

[0054] 将除具有最小晶体粒径且属于第一组的马氏体晶粒之外的属于第一组的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积而得的值小于0.5。

[0055] 从另一个观点来看,可以说多个马氏体晶粒按照晶体粒径最大的顺序被分配到第一组。直到当分配给第一组的马氏体晶粒的总面积达到多个马氏体晶粒的总面积的0.5倍以上时,结束分配给第一组。多个马氏体晶粒的剩余部分被分配到第二组。

[0056] 属于第一组的马氏体晶粒的平均粒径为 $0.97\mu\text{m}$ 以下。属于第一组的马氏体晶粒的平均粒径优选为 $0.90\mu\text{m}$ 以下。属于第一组的马氏体晶粒的平均粒径更优选为 $0.85\mu\text{m}$ 以下。

[0057] 属于第一组的每个马氏体晶粒的长宽比为2.57以下。属于第一组的每个马氏体晶粒的长宽比优选为2.50以下。属于第一组的每个马氏体晶粒的长宽比更优选为2.45以下。

[0058] 多个马氏体晶粒可以分类为第三组和第四组。属于第三组的马氏体晶粒的晶体粒径的最小值大于属于第四组的马氏体晶粒的晶体粒径的最大值。

[0059] 属于第三组的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积(属于第三组的马氏体晶粒的总面积与属于第四组的马氏体晶粒的总面积之和)所得的值为0.7以上。

[0060] 将除具有最小晶体粒径且属于第三组的马氏体晶粒之外的属于第三组的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积而得的值小于0.7。

[0061] 从另一个观点来看,可以说多个马氏体晶粒按照晶体粒径最大的顺序被分配到第三组。直到当分配给第三组的马氏体晶粒的总面积达到多个马氏体晶粒的总面积的0.7倍以上时,结束分配给第三组。多个马氏体晶粒的剩余部分被分配到第四组。

[0062] 属于第三组的马氏体晶粒的平均粒径为 $0.75\mu\text{m}$ 以下。属于第三组的马氏体晶粒的

平均粒径优选为 $0.70\mu\text{m}$ 以下。属于第三组的马氏体晶粒的平均粒径更优选为 $0.65\mu\text{m}$ 以下。

[0063] 属于第三组的每个马氏体晶粒的长宽比为2.45以下。属于第三组的每个马氏体晶粒的长宽比优选为2.40以下。属于第三组的每个马氏体晶粒的长宽比更优选为2.35以下。

[0064] 属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均晶体粒径和属于第一组(第三组)的每个马氏体晶粒的长宽比使用EBSD(电子背散射衍射)法测量。

[0065] 这将在下面更详细地描述。首先,基于EBSD法拍摄淬火硬化层50的截面图像(以下称为“EBSD图像”)。拍摄EBSD图像以包括足够数量(20个以上)的马氏体晶粒。基于EBSD图像指定相邻马氏体晶粒之间的边界。其次,基于指定的马氏体晶粒边界,计算EBSD图像中每个马氏体晶粒的面积和形状。

[0066] 更具体而言,通过计算将EBSD图像中显示出的各马氏体晶粒的面积除以 $\pi/4$ 所得的值的平方根,计算EBSD图像中显示出的各马氏体晶粒的当量圆直径。

[0067] 基于如上所述计算出的各马氏体晶粒的当量圆直径,确定EBSD图像中显示出的马氏体晶粒中属于第一组(第三组)的马氏体晶粒。将EBSD图像中显示出的马氏体晶粒中属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的总面积除以EBSD图像中显示出的马氏体晶粒的总面积而得到的值作为属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的总面积除以多个马氏体晶粒的总面积而得到的值。

[0068] 基于如上所述计算的每个马氏体晶粒的当量圆直径,EBSD图像中显示出的马氏体晶粒被分类为第一组和第二组(或分类为第三组和第四组)。将EBSD图像中显示出的分类为第一组(第三组)的马氏体晶粒的当量圆直径的总和除以EBSD图像中显示出的分类为第一组(第三组)的马氏体晶粒的个数而得到的值作为属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均粒径。

[0069] 从EBSD图像中显示出的每个马氏体晶粒的形状,通过最小二乘法将EBSD图像中的每个马氏体晶粒的形状近似为椭圆。根据S. Biggin和DJ Dingley,应用晶体学杂志(Journal of Applied Crystallography), (1977) 10, 376-378中描述的方法,进行基于最小二乘法的椭圆近似。通过将该椭圆形状的长轴尺寸除以短轴尺寸,计算EBSD图像中显示出的各马氏体晶粒的长宽比。将EBSD图像中显示出的分类为第一组(第三组)的马氏体晶粒的长宽比的总和除以EBSD图像中显示出的分类为第一组(第三组)的马氏体晶粒的个数所得的值作为属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均长宽比。

[0070] 淬火硬化层50含有氮。在淬火硬化层50的表面(内圈滚道面10c)与距离表面 $10\mu\text{m}$ 的位置之间的淬火硬化层50平均氮浓度为例如0.05质量%以上。优选地,该平均氮浓度为0.10质量%以上。更优选地,该平均氮浓度为0.20质量%以下。需要说明的是,该平均氮浓度是使用EPMA(电子探针显微分析仪)测量的。

[0071] 淬火硬化层50的表面(内圈滚道面10c)与距离表面 $10\mu\text{m}$ 的位置之间的淬火硬化层50的平均碳浓度为例如0.5质量%以上。需要说明的是,平均碳浓度是使用EPMA测量的。

[0072] 表面(内圈滚道面10c)的淬火硬化层50的硬度为670Hv以上。硬度优选为730Hv以上。需要说明的是,表面的淬火硬化层50的硬度是根据JIS标准(JIS Z 2244:2009)进行测定的。表面中的淬火硬化层50的硬度是在一定范围内在尽可能靠近表面的位置进行测定的,该范围使得由显微维氏硬度计形成的压痕不会延伸到滚动面轴向中央位置处的淬火硬化层50的表面之外。

[0073] 在上述的例子中,在内圈滚道面10c上形成有淬火硬化层50,但也可以在外圈滚道面20c和外周面30a(滚动体30的滚动接触面)上分别形成淬火硬化层50。即,可以在内圈滚道面10c、外圈滚道面20c和滚动体30的滚道面中的至少一方形成淬火硬化层。

[0074] <变形例>

[0075] 下面说明根据第一变形例的滚动轴承(称为“滚动轴承200”)的结构以及根据第二变形例的滚动轴承(称为“滚动轴承300”)的结构。在此,主要说明与滚动轴承100的结构不同的点,并省略相同的说明。

[0076] 图3是滚动轴承200的剖视图。如图3所示,滚动轴承200包括内圈10、外圈20、滚动体30和保持器40。滚动轴承200是圆柱滚子轴承。即,各滚动体30呈具有外周面30a的圆柱形状。虽未图示,但滚动轴承200具有形成于内圈滚道面10c、外圈滚道面20c以及滚动体30的滚道面(外周面30a)中的至少一方的淬火硬化层50。尽管滚动轴承200的轴承类型不同,但滚动轴承200具有与滚动轴承100相同的结构。

[0077] 图4是滚动轴承300的剖视图。如图4所示,滚动轴承300包括内圈10、外圈20、滚动体30和保持器40。滚动轴承300为深槽滚珠轴承。也就是说,滚动体30是具有表面30b的球。虽未图示,但滚动轴承300具有形成于内圈滚道面10c、外圈滚道面20c以及滚动体30的滚道面(外周面30a)中的至少一方的淬火硬化层50。尽管滚动轴承300的轴承类型不同,但滚动轴承300具有与滚动轴承100相同的结构。

[0078] 需要说明的是,在表面30b上形成淬火硬化层50的情况下,有时可以不在滚动面轴向中央位置测定淬火硬化层50表面的奥氏体晶粒的体积比率和淬火硬化层50的硬度。更具体而言,奥氏体晶粒的体积比率的测定位置只要是在表面30b与距离表面30b为50 μm 的位置之间测定奥氏体晶粒的体积比率即可,没有特别限定。淬火硬化层50的硬度的测量值只要淬火硬化层50的硬度是在由显微维氏硬度计形成的压痕不会延伸到表面30b之外的范围内在尽可能靠近表面30b的位置测量的即可,没有特别限制。这是因为滚动体30在滚动轴承300中具有球形形状。

[0079] 以下,对内圈10的制造方法进行说明。

[0080] 图5是表示内圈10的制造方法的工序图。如图5所示,内圈10的制造方法包括准备工序S1、碳氮共渗工序S2、第一回火工序S3、淬火工序S4、第二回火工序S5、和后处理工序S6。

[0081] 在准备工序S1中,准备圆柱状的加工对象部件。该加工对象部件通过对其进行碳氮共渗工序S2、第一回火工序S3、淬火工序S4、第二回火工序S5和后处理工序S6而形成内圈10。在准备工序S1中,首先,对加工对象部件进行热锻造。在准备工序S1中,第二,对加工对象部件进行冷锻造。在准备工序S1中,第三,进行切削以提供接近内圈10的形狀的加工对象部件形状。

[0082] 在碳氮共渗工序S2中,首先,通过将加工对象构件加热至第一温度以上的温度,对加工对象部件进行碳氮共渗。第一温度是构成加工对象部件的钢的 A_1 相变点以上的温度。在碳氮共渗工序S2中,第二,冷却加工对象部件。该冷却以加工对象部件的温度变为 M_s 相变点以下的方式进行。

[0083] 在第一回火工序S3中,对加工对象部件进行回火。第一回火工序S3通过将加工对象部件在第二温度保持第一时间来进行。第二温度是低于 A_1 转变点的温度。第二温度例如

为160℃以上且200℃以下。第一时间例如为1小时以上且4小时以下。

[0084] 在淬火工序S4中,对加工对象部件进行淬火。在淬火工序S4中,首先,将加工对象部件加热至第三温度。第三温度是构成加工对象部件的钢的 A_1 相变点以上的温度。第三温度优选低于第一温度。在淬火工序S4中,第二,冷却加工对象部件。该冷却以加工对象部件的温度变为 M_s 相变点以下的方式进行。

[0085] 在第二回火工序S5中,对加工对象部件进行回火。第二回火工序S5通过将加工对象部件在第四温度保持第二时间来进行。第四温度是低于 A_1 转变点的温度。第四温度例如为160℃以上且200℃以下。第二时间例如为1小时以上且4小时以下。需要说明的是,淬火工序S4和第二回火工序S5均可以重复多次。

[0086] 在后处理工序S6中,对加工对象构件进行后处理。在后处理工序S6中,例如进行加工对象部件的清洗、进行加工对象部件的表面的磨削或研磨等机械加工等。由此,制造了内圈10。

[0087] 由于外圈20的制造方法和滚动体30的制造方法均与内圈10的制造方法相同,因此在此省略其方法的说明。

[0088] (实施方式的滚动轴承的效果)

[0089] 以下,对滚动轴承100的作用进行说明。

[0090] 当根据最薄弱环节模型考虑材料失效时,每个具有相对低强度的部分,即每个具有相对大的晶体粒径的马氏体晶粒对材料失效具有很大的影响。在淬火硬化层50中,属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均粒径为 $0.97\mu\text{m}$ 以下($0.75\mu\text{m}$ 以下)。因此,在滚动轴承100中,即使属于第一组(第三组)的晶粒比较大的马氏体晶粒也是微细的晶粒,因此滚动疲劳强度和静载荷容量提高。

[0091] 马氏体晶粒的平均长宽比越小,则各马氏体晶粒的形状越接近球状,越不易产生应力集中。因此,当属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均长宽比为2.57以下(2.45以下)时,能够进一步提高滚动疲劳强度和静载荷容量。

[0092] 在滚动轴承100中,滚动面轴向中央位置的淬火硬化层50表面的奥氏体晶粒的体积比率为30%以下,从而能够抑制淬火硬化层50的该表面的硬度降低(具体而言,能够维持670Hv以上的硬度)。

[0093] 需要说明的是,由于滚动轴承200和滚动轴承300除了轴承的种类以外都具有与滚动轴承100相同的结构,因此滚动疲劳寿命和静载荷容量与滚动轴承100同样地提高。

[0094] 以下,对为了确认滚动轴承100的效果而进行的滚动疲劳试验和静载荷容量试验进行说明。

[0095] <样品>

[0096] 在滚动疲劳试验和静载荷容量试验的每一个中,使用样品1、样品2和样品3。样品1和样品2均由SUJ2组成。样品3由SCM435组成,它是一种在JIS标准(JIS G 4053:2016)中规定的铬钼钢。

[0097] 通过进行与内圈10(外圈20或滚动体30)相同的热处理来制备样品1。更具体地,在样品1的制备中,将第一温度设为850℃,将第二温度设为180℃,将第三温度设为810℃,将第四温度设为180℃。对于样品2和3中的每一个,不进行淬火工序S4和第二回火工序S5。在样品2的制备中,第一温度设定为850℃,第二温度设定为180℃。在样品3的制备中,第一温

度设定为930℃,第二温度设定为170℃。样品1~3的热处理条件如表1所示。

[0098] [表1]

[0099]		第一温度 (°C)	第二温度 (°C)	第三温度 (°C)	第四温度 (°C)
	样品1	850	180	810	180
	样品2	850	180	-	-
	样品3	930	170	-	-

[0100] 需要说明的是,在样品1~样品3的各样品中,在距离表面50μm的位置,奥氏体晶粒的总面积的比率为20%以上且30%以下时,表面的氮浓度为0.15质量%以上且0.20质量%以下,且表面硬度为730Hv。

[0101] 在样品1中,属于第一组的马氏体晶粒的平均粒径为0.80μm,属于第一组的马氏体晶粒的平均长宽比为2.41。另外,样品1中,属于第三组的马氏体晶粒的平均粒径为0.64μm,属于第三组的马氏体晶粒的平均长宽比为2.32。

[0102] 在样品2中,属于第一组的马氏体晶粒的平均粒径为1.11μm,属于第一组的马氏体晶粒的平均长宽比为3.00。另外,样品2中,属于第三组的马氏体晶粒的平均粒径为0.84μm,属于第三组的马氏体晶粒的平均长宽比为2.77。

[0103] 在样品3中,属于第一组的马氏体晶粒的平均粒径为1.81μm,属于第一组的马氏体晶粒的平均长宽比为3.38。另外,样品3中,属于第三组的马氏体晶粒的平均粒径为1.28μm,属于第三组的马氏体晶粒的平均长宽比为3.04。

[0104] 表2示出样品1~样品3的马氏体晶粒的平均粒径和平均长宽比的测定结果。

[0105] [表2]

		第一组马氏体晶粒		第三组马氏体晶粒	
		平均粒径 (μm)	平均长宽比	平均粒径 (μm)	平均长宽比
[0106]	样品 1	0.80	2.41	0.64	2.32
	样品 2	1.11	3.00	0.84	2.77
	样品 3	1.81	3.38	1.28	3.04

[0107] 图6显示了样品1的截面的EBSD图像。图7显示了样品2的截面的EBSD图像。图8显示了样品3的截面的EBSD图像。由图6~图8可知,样品1的马氏体晶粒比样品2、样品3的细小。

[0108] <滚动疲劳试验条件>

[0109] 在滚动疲劳试验中,使用样品1和样品3分别制作内圈、外圈和圆锥滚子,用它们制作圆锥滚子轴承。滚动疲劳试验在内圈转速为3000转/分,最大接触面压力为2.6GPa的条件下进行。在滚动疲劳试验中,使用涡轮机油VG56进行浴润滑。在该涡轮机油中,以0.2g/L的比例混合了硬质气体雾化粉末。滚动疲劳试验的试验条件如表3所示。需要说明的是,滚动疲劳试验是对使用样品1制作的6个圆锥滚子轴承和使用样品3制作的6个圆锥滚子轴承进行的。

[0110] [表3]

[0111]	最大接触面压力 (GPa)	2.6
	内圈转速 (分钟 ⁻¹)	3000
	润滑	使用涡轮机油的浴润滑 (VG56)
	特别说明	将0.2g/L的硬质气雾化粉末混合在润滑油中。

[0112] <静载荷容量试验条件>

[0113] 在静载荷试验中,使用样品1~样品3制作平板状构件。静载荷试验通过将由氮化硅构成的陶瓷球压在已经被镜面抛光的各平板状构件的表面上,求出最大接触面压力与压痕深度之间的关系来进行。需要说明的是,静载荷容量是根据压痕深度除以陶瓷球直径所得的值达到1/10000时(当压痕深度除以陶瓷球的直径再乘以10000的值达到1时)的最大接触面压力来评价的。

[0114] <滚动疲劳试验结果>

[0115] 使用样品1制备的每个圆锥滚子轴承具有50.4小时的 L_{50} 寿命(50%失效寿命)。另一方面,使用样品3制作的圆锥滚子轴承的 L_{50} 寿命为31.2小时。因此,使用样品1制造的圆锥滚子轴承与使用样品3制造的圆锥滚子轴承相比,滚动疲劳寿命提高了2倍以上。该试验结果示于表4中。

[0116] [表4]

[0117]		样品1	样品3
	L_{50} 寿命(小时)	50.4	31.2
	用于试验的样品数	6	6

[0118] 图9是表示马氏体晶粒的平均粒径与滚动疲劳寿命的关系的图表。图10是表示马氏体晶粒的平均长宽比与滚动疲劳寿命的关系的图表。在图9中,横轴表示马氏体晶粒的平均粒径(单位: μm),纵轴表示滚动疲劳寿命 L_{50} (单位:小时)。在图10中,横轴表示马氏体晶粒的平均长宽比,纵轴表示滚动疲劳寿命 L_{50} (单位:小时)。

[0119] 如图9和图10所示,属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均粒径越小,滚动疲劳寿命 L_{50} 越高,并且属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均长宽比越小,滚动疲劳寿命 L_{50} 越高。

[0120] <静载荷容量试验结果>

[0121] 图11是表示最大接触面压力与压痕深度之间的关系图表。在图11中,横轴表示最大接触面压力(单位:GPa),纵轴表示如下求出的值:压痕深度/陶瓷球的直径 $\times 10^4$ 。如图11所示,当纵轴取值为1时,样品1对应的曲线中的最大接触面压力值大于样品2和3对应的曲线中的值。即,样品1的静载荷容量的值大于样品2和3中的每一个的静载荷容量的值。

[0122] 图12是表示马氏体晶粒的平均粒径与静载荷容量的关系图表。图13是表示马氏体晶粒的平均长宽比与静载荷容量的关系图表。在图12中,横轴表示马氏体晶粒的平均粒径(单位: μm),纵轴表示静载荷容量(单位:GPa)。在图13中,横轴表示马氏体晶粒的平均长宽比,纵轴表示静载荷容量(单位:GPa)。

[0123] 如图12和图13所示,属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均粒径越小,静载荷容量越高,并且属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均长宽比越小,静载荷容量越高。鉴于此以及图9和图10所示的结果,当属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均粒径为 $0.97\mu\text{m}$ 以下($0.75\mu\text{m}$ 以下)并且属于第一组(第三组)的马氏体晶粒的平均长宽比为2.57以下(2.45以下)时,可以实现滚动疲劳寿命 L_{50} 是以往的滚动疲劳寿命 L_{50} (即、样品3的滚动疲劳寿命 L_{50})的1.5倍以上,且能够实现5.3GPa以上的静载荷容量。

[0124] 鉴于这样的试验结果,实验还表明通过提供淬火硬化层50可以提高滚动轴承100的滚动疲劳强度和静载荷容量。

[0125] 尽管已经说明了本发明的实施方式,但是可以以各种方式变更上述实施方式。此外,本发明的范围不限于上述实施方式。本发明的范围由权利要求书限定,在与权利要求书等价的范围和意义内的任何变更也包含在内。

[0126] 工业上的适用性

[0127] 上述实施方式特别有利地应用于圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承和深槽滚珠轴承。

[0128] 附图标记清单

[0129] 10:内圈;10a:内周面;10b:外周面;10c:内圈滚道面;20:外圈;20a:内周面;20b:外周面;20c:外圈滚道面;30:滚动体;30a:外周面;30b:表面;40:支持器;50:淬火硬化层;100、200、300:滚动轴承;L:假想直线;S1:准备工序;S2:碳氮共渗工序;S3:第一回火工序;S4:淬火工序;S5:第二回火工序;S6:后处理工序。

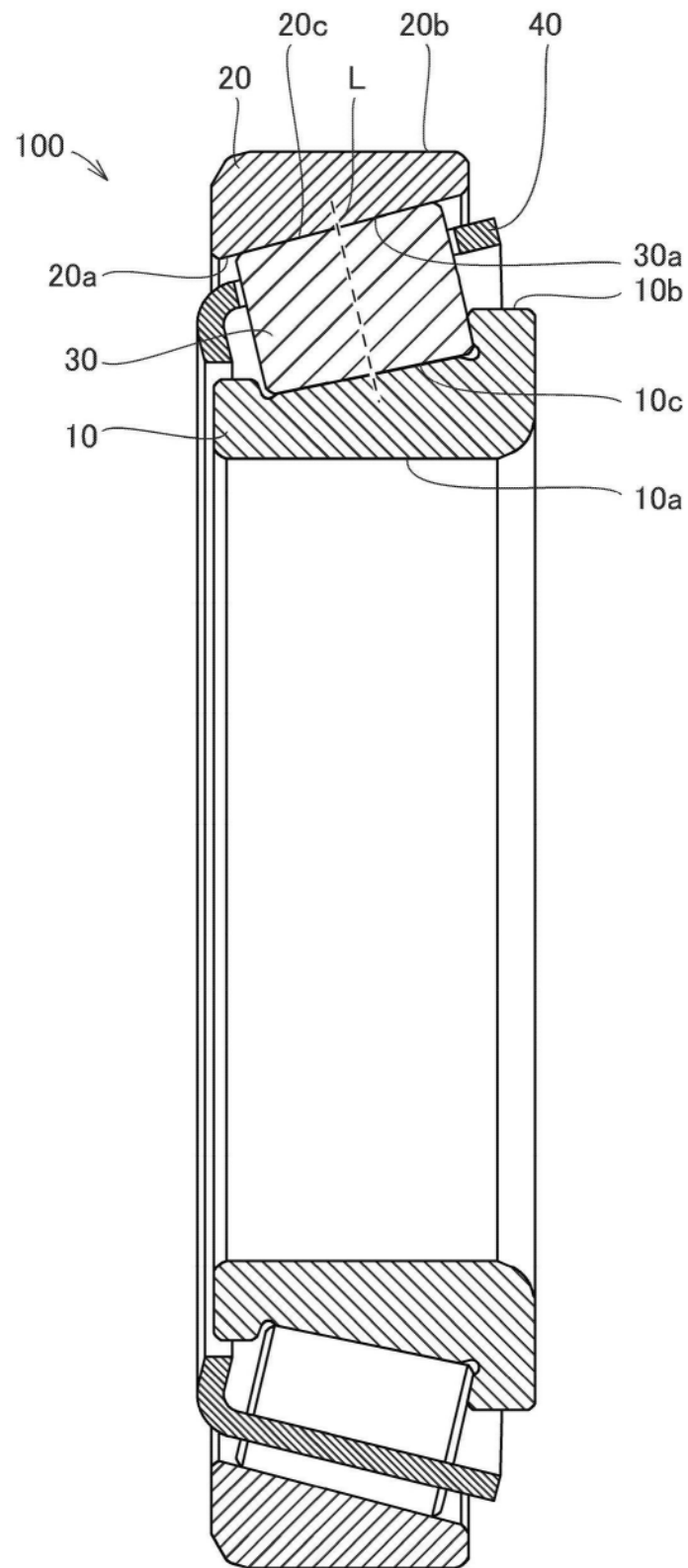


图1

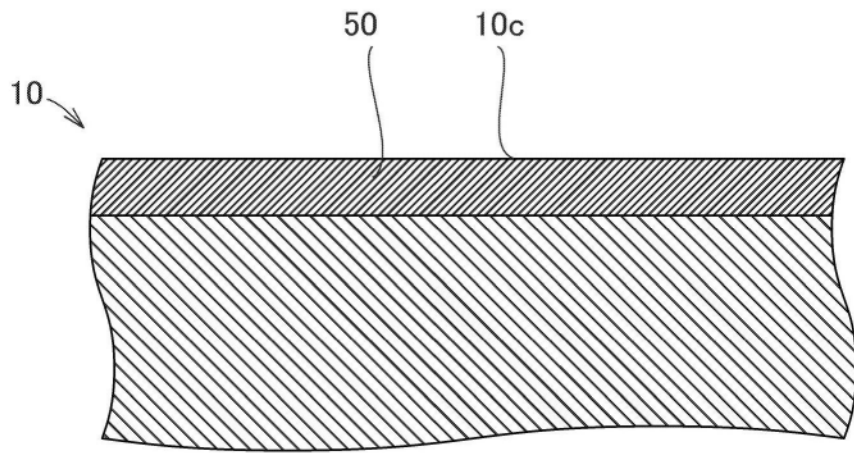


图2

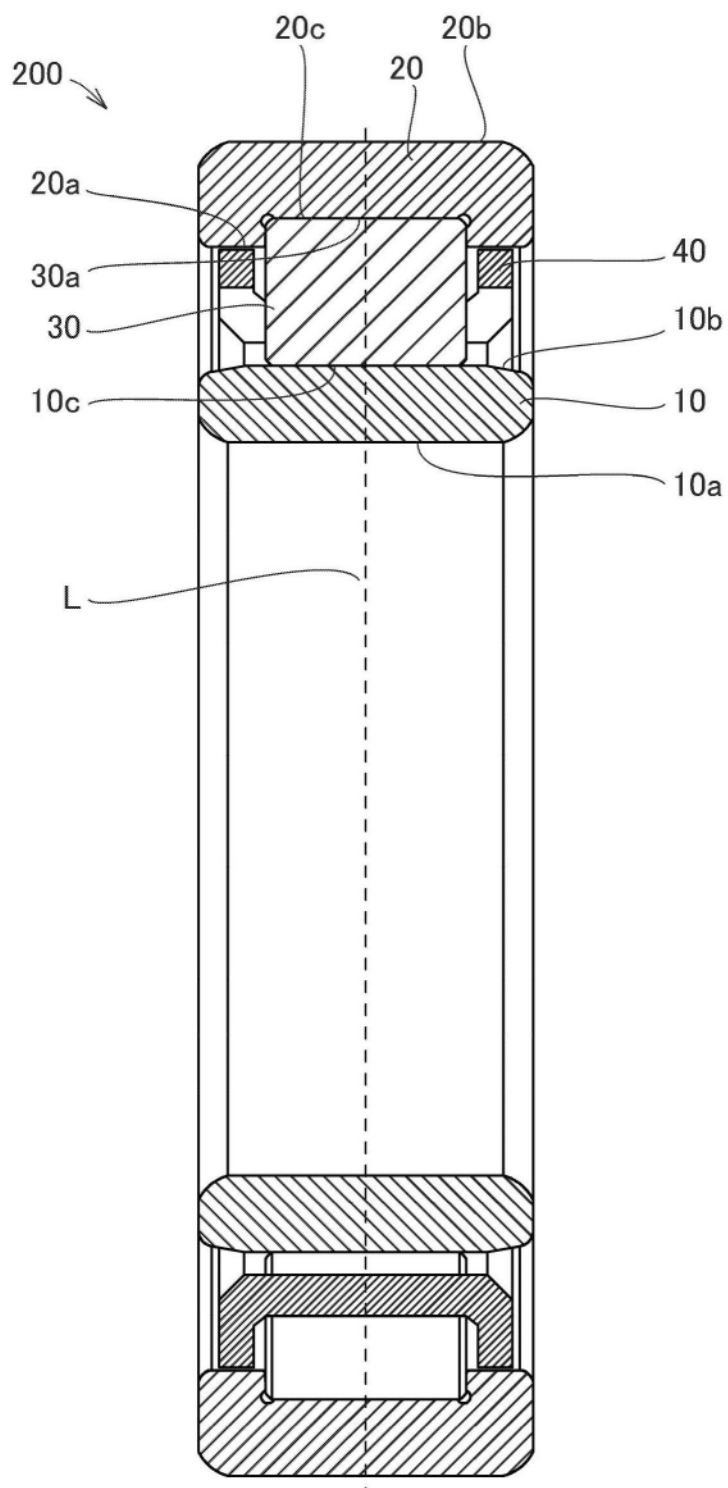


图3

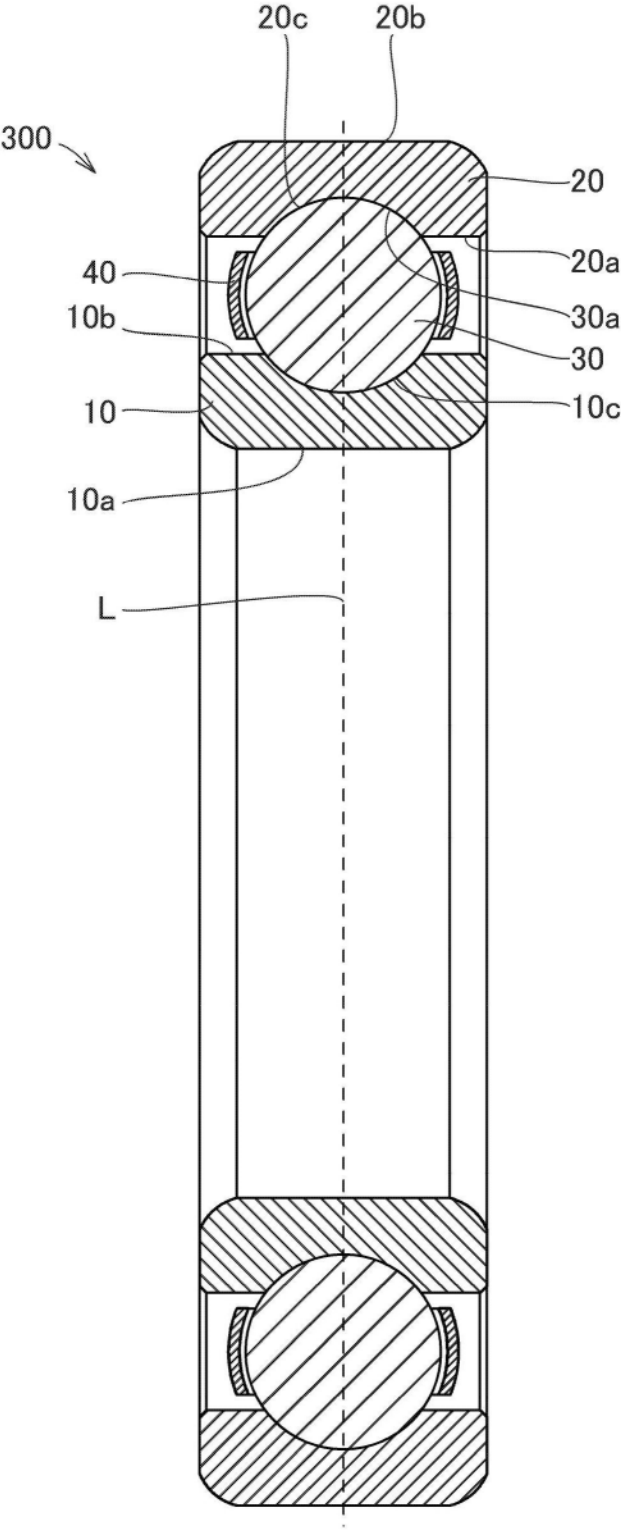


图4

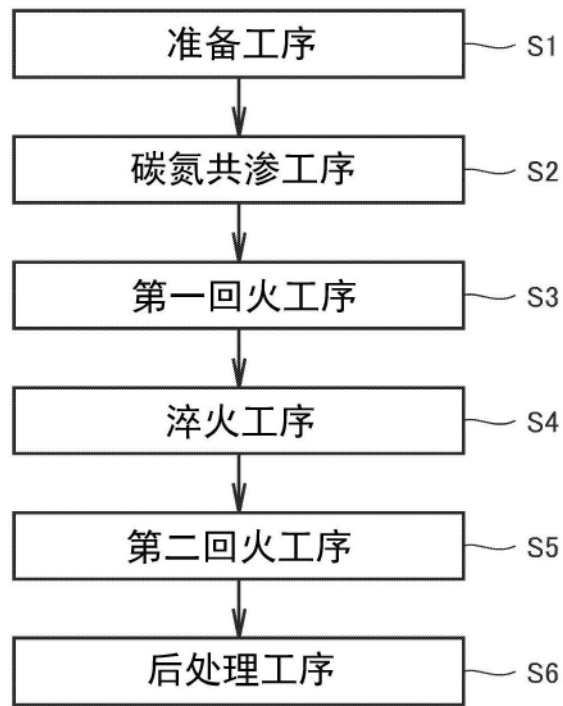


图5

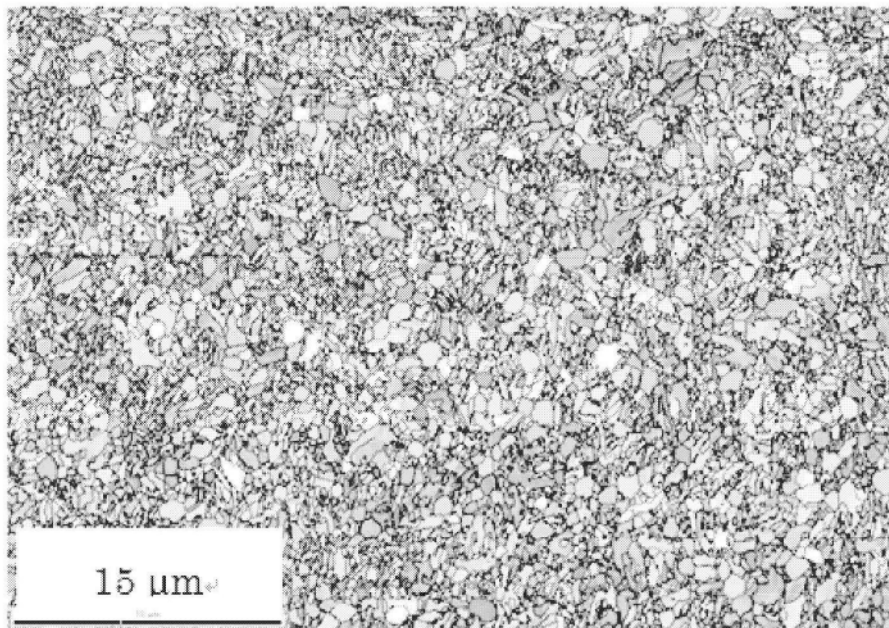


图6

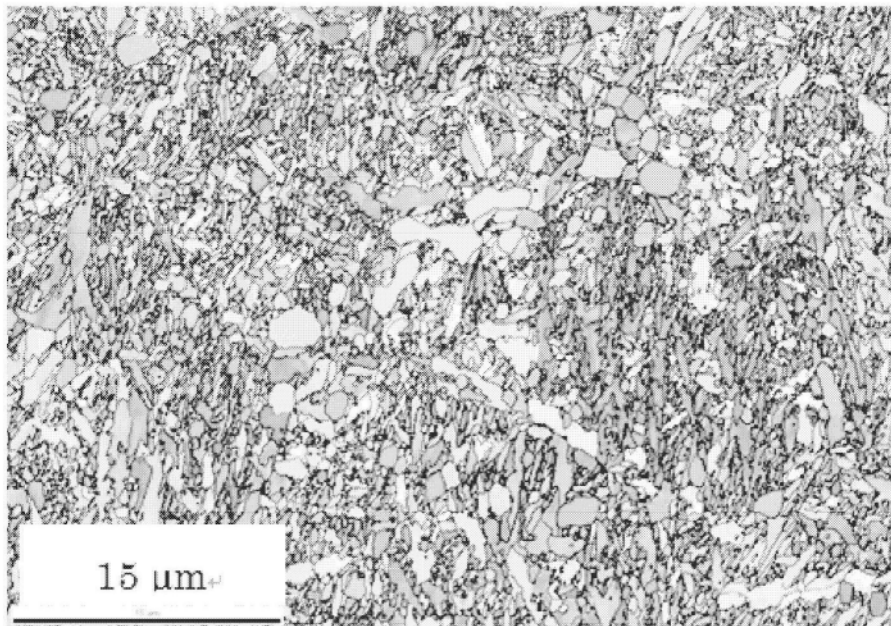


图7

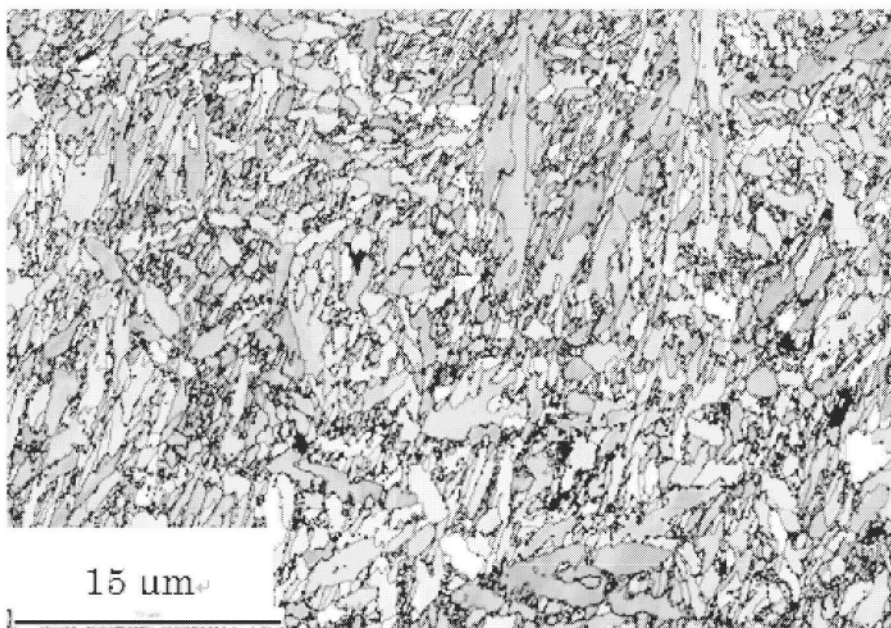


图8

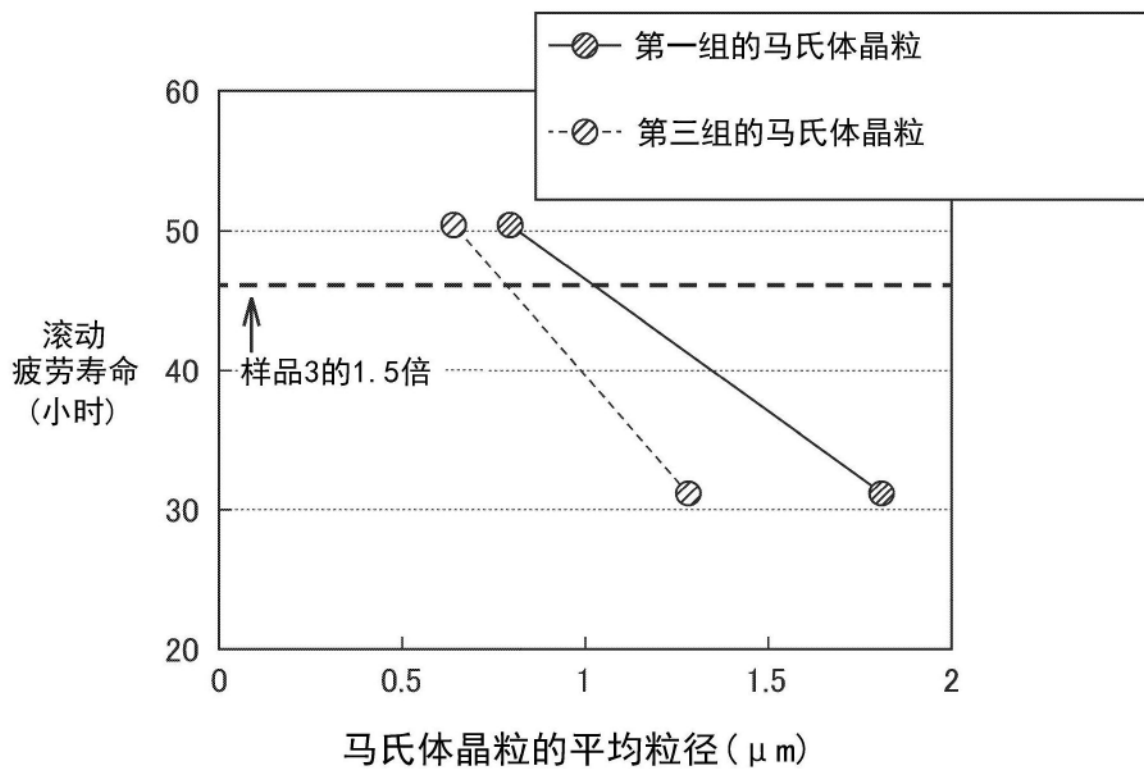


图9

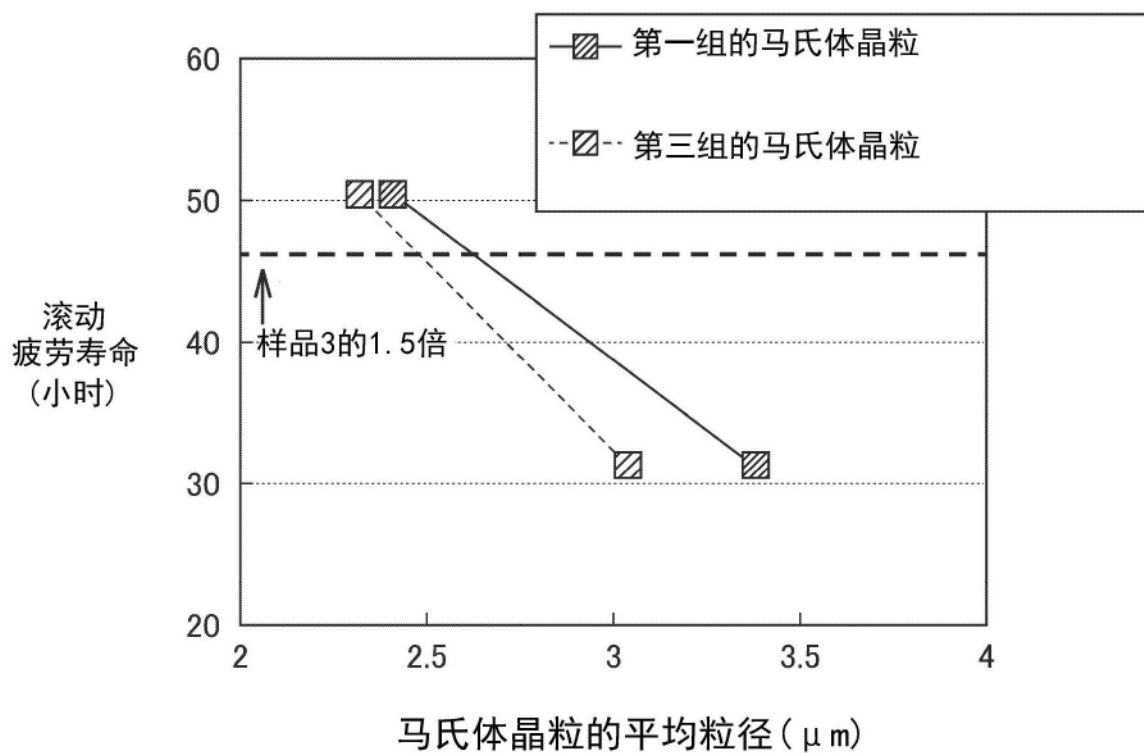


图10

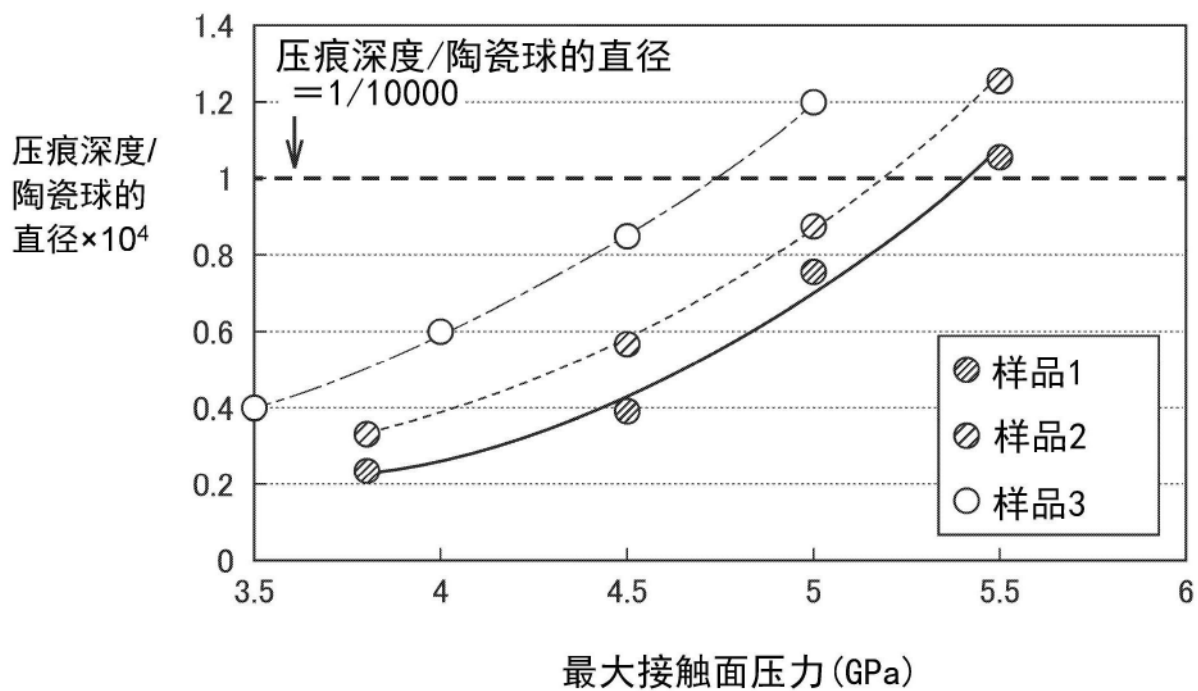


图11

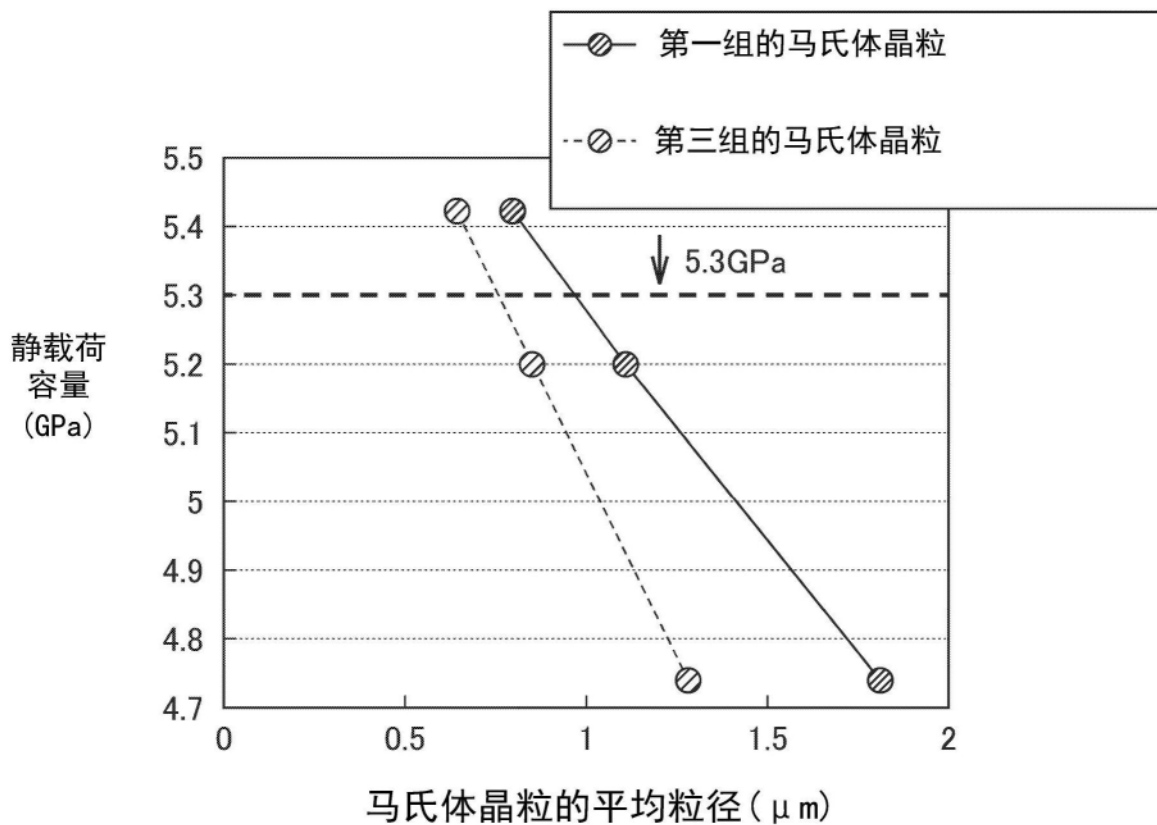


图12

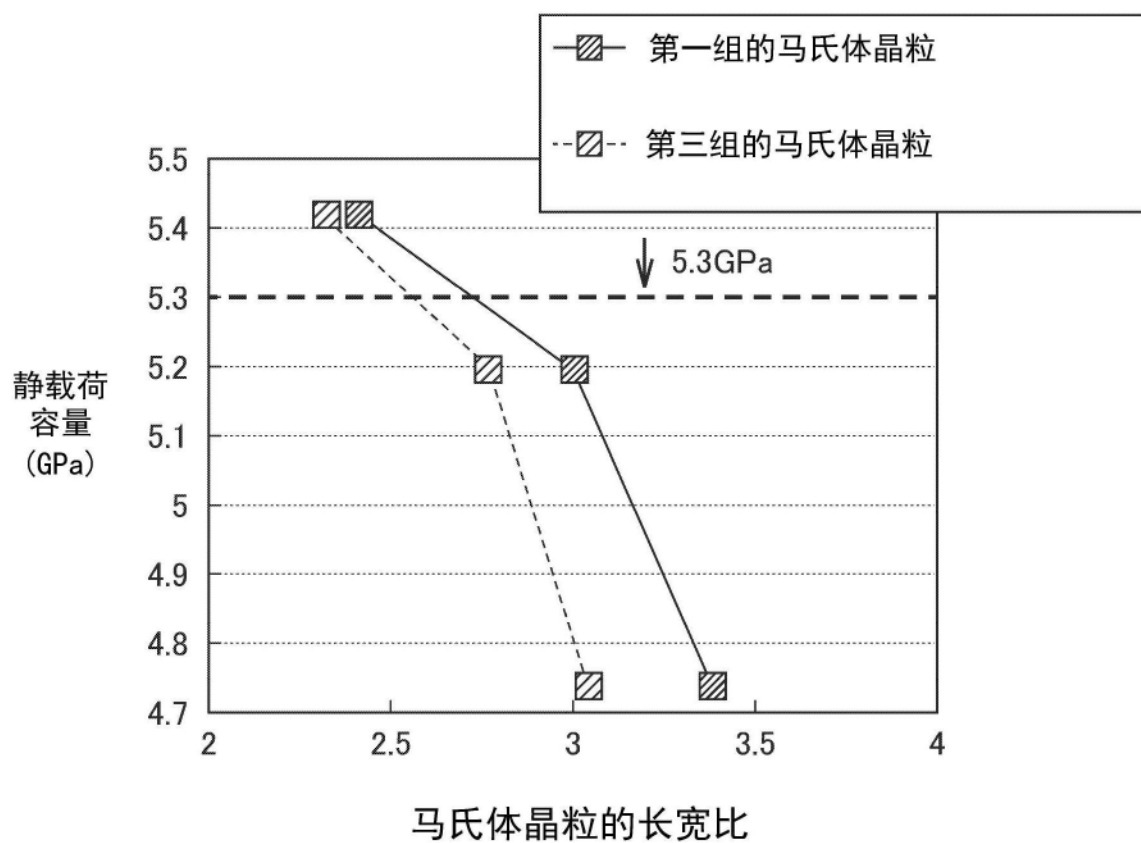


图13