



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110561405 B

(45) 授权公告日 2022.12.02

(21) 申请号 201910481238.3

(22) 申请日 2019.06.04

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110561405 A

(43) 申请公布日 2019.12.13

(30) 优先权数据

2018-107497 2018.06.05 JP

(73) 专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 坂田正昭

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

专利代理师 潘树志

(51) Int.Cl.

B25J 9/10 (2006.01)

C21D 1/18 (2006.01)

C21D 9/32 (2006.01)

F16H 49/00 (2006.01)

(56) 对比文件

EP 0144907 A2, 1985.06.19

CN 107662201 A, 2018.02.06

CN 1827795 A, 2006.09.06

TW I222501 B, 2004.10.21

JP 2002307237 A, 2002.10.23

JP 2018053912 A, 2018.04.05

WO 2011122315 A1, 2011.10.06

JP 2008223126 A, 2008.09.25

CN 107662203 A, 2018.02.06

审查员 陈泽

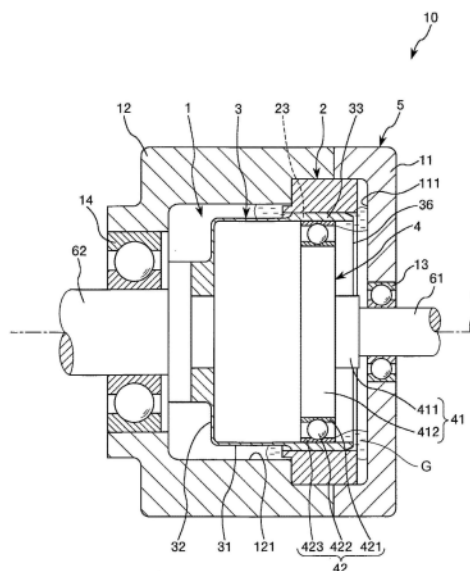
权利要求书2页 说明书18页 附图8页

(54) 发明名称

机器人、齿轮装置以及齿轮装置的制造方法

(57) 摘要

本发明提供机器人、齿轮装置以及齿轮装置的制造方法,其能够实现长寿命化。一种机器人,具备第一构件、第二构件、传递使上述第二构件相对转动的驱动力的齿轮装置以及向上述齿轮装置输出上述驱动力的驱动源,上述齿轮装置具有:内齿齿轮;外齿齿轮,具有柔性,并且局部与上述内齿齿轮啮合;以及波动发生器,与上述外齿齿轮的内周面接触,使上述内齿齿轮与上述外齿齿轮的啮合位置在周向上移动,上述内齿齿轮、上述外齿齿轮以及上述波动发生器中之一连接到上述第一构件,另一连接到上述第二构件,上述外齿齿轮以镍铬钼钢为主材料,上述内齿齿轮以实施了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者实施了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁为主材料。



1. 一种机器人,其特征在于,具备:
第一构件;
第二构件,相对于所述第一构件转动;
齿轮装置,传递使所述第二构件相对地转动的驱动力;以及
驱动源,向所述齿轮装置输出所述驱动力,
所述齿轮装置具有:
内齿齿轮;
外齿齿轮,具有柔性,并且局部与所述内齿齿轮啮合;以及
波动发生器,与所述外齿齿轮的内周面接触,使所述内齿齿轮与所述外齿齿轮的啮合位置在周向上移动,
所述内齿齿轮、所述外齿齿轮以及所述波动发生器中之一连接到所述第一构件,另一连接到所述第二构件,
所述外齿齿轮以镍铬钼钢为主材料,所述内齿齿轮以实施了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者实施了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁为主材料,
所述外齿齿轮的外齿的表面粗糙度Ra大于所述内齿齿轮的内齿的表面粗糙度Ra。
2. 根据权利要求1所述的机器人,其特征在于,
所述内齿齿轮的表面的维氏硬度在所述外齿齿轮的表面的维氏硬度以下。
3. 根据权利要求1或2所述的机器人,其特征在于,
所述外齿齿轮的表面的维氏硬度在400以上且520以下的范围内。
4. 根据权利要求1或2所述的机器人,其特征在于,
所述内齿齿轮的表面的维氏硬度在300以上且450以下的范围内。
5. 根据权利要求1所述的机器人,其特征在于,
所述外齿齿轮的残余应力在-950MPa以上且-450MPa以下的范围内。
6. 根据权利要求1所述的机器人,其特征在于,
所述外齿齿轮的外齿的表面粗糙度Ra在0.2 μ m以上且1.6 μ m以下的范围内。
7. 根据权利要求1所述的机器人,其特征在于,
所述内齿齿轮的内齿的表面粗糙度Ra在0.1 μ m以上且0.8 μ m以下的范围内。
8. 根据权利要求1所述的机器人,其特征在于,
所述外齿齿轮的平均结晶粒径小于所述内齿齿轮的平均结晶粒径。
9. 根据权利要求1所述的机器人,其特征在于,
所述外齿齿轮在0.01质量%以上且0.5质量%以下的范围内包含第四族元素或第五族元素。
10. 根据权利要求1所述的机器人,其特征在于,
在所述内齿齿轮与所述外齿齿轮之间具备润滑剂,
所述润滑剂包含基础油、增稠剂以及有机钼化合物,并且所述润滑剂的分油度在4质量%以上且13.8质量%以下的范围内。
11. 根据权利要求1所述的机器人,其特征在于,
作为所述内齿齿轮的主材料的球状石墨铸铁包含索氏体组织或贝氏体组织。
12. 一种齿轮装置,其特征在于,具有:

内齿齿轮；

外齿齿轮，具有柔性，并且局部与所述内齿齿轮啮合；以及

波动发生器，与所述外齿齿轮的内周面接触，使所述内齿齿轮与所述外齿齿轮的啮合位置在周向上移动，

所述外齿齿轮以镍铬钼钢为主材料，所述内齿齿轮的构成材料以完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁为主材料，

所述外齿齿轮的外齿的表面粗糙度Ra大于所述内齿齿轮的内齿的表面粗糙度Ra。

13. 一种齿轮装置的制造方法，其特征在于，所述齿轮装置具有：

内齿齿轮；

外齿齿轮，具有柔性，并且局部与所述内齿齿轮啮合；以及

波动发生器，与所述外齿齿轮的内周面接触，使所述内齿齿轮与所述外齿齿轮的啮合位置在周向上移动，

所述齿轮装置的制造方法包括以下工序：

准备以球状石墨铸铁为主材料的内齿齿轮用构件；以及

对所述内齿齿轮用构件实施淬火和回火处理或奥氏体回火处理，得到所述内齿齿轮，

所述外齿齿轮的外齿的表面粗糙度Ra大于所述内齿齿轮的内齿的表面粗糙度Ra。

14. 根据权利要求13所述的齿轮装置的制造方法，其特征在于，

所述内齿齿轮用构件所包含的所述球状石墨铸铁包含石墨和基质，

所述基质包含珠光体组织。

机器人、齿轮装置以及齿轮装置的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及机器人、齿轮装置以及齿轮装置的制造方法。

背景技术

[0002] 在具备构成为包括至少1个臂的机械手的机器人中,例如通过电机驱动使机械手的关节部转动,此时,进行通过减速器(齿轮装置)将来自该电机的驱动力的旋转减速后传递到机械手。

[0003] 作为这样的减速器,例如已知专利文献1中记载的波动齿轮装置。专利文献1中记载的波动齿轮装置包括:刚性的内齿齿轮,呈圆环状;杯状的柔性的外齿齿轮,其配置于内齿齿轮的内侧;以及椭圆形轮廓的波动发生器,其嵌入该外齿齿轮的内侧。

[0004] 专利文献1:日本专利特开2002-349681号公报

[0005] 但是,在专利文献1中记载的波动齿轮装置中,内齿齿轮的构成材料是高强度铝合金或铜合金,外齿齿轮的构成材料是结构用钢或不锈钢。因此,存在内齿齿轮和外齿齿轮的机械特性不充分、齿轮装置的寿命短的问题。另外,齿轮装置的寿命例如成为使机器人的作业效率下降的一个原因。

发明内容

[0006] 本发明的应用例涉及的机器人具备:第一构件;第二构件,相对于所述第一构件转动;齿轮装置,传递使所述第二构件相对地转动的驱动力;以及驱动源,向所述齿轮装置输出所述驱动力,所述齿轮装置具有:内齿齿轮;外齿齿轮,具有柔性,并且局部与所述内齿齿轮啮合;以及波动发生器,与所述外齿齿轮的内周面接触,使所述内齿齿轮与所述外齿齿轮的啮合位置在周向上移动,所述内齿齿轮、所述外齿齿轮以及所述波动发生器中之一一连接到所述第一构件,另一一连接到所述第二构件,所述外齿齿轮以镍铬钼钢为主材料,所述内齿齿轮以实施了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者实施了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁为主材料。

[0007] 本发明的应用例涉及的齿轮装置具有:内齿齿轮;外齿齿轮,具有柔性,并且局部与所述内齿齿轮啮合;以及波动发生器,与所述外齿齿轮的内周面接触,使所述内齿齿轮与所述外齿齿轮的啮合位置在周向上移动,所述外齿齿轮以镍铬钼钢为主材料,所述内齿齿轮的构成材料以完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁为主材料。

[0008] 本发明的应用例涉及的齿轮装置的制造方法其特征在于,所述齿轮装置具有:内齿齿轮;外齿齿轮,具有柔性,并且局部与所述内齿齿轮啮合;以及波动发生器,与所述外齿齿轮的内周面接触,使所述内齿齿轮与所述外齿齿轮的啮合位置在周向上移动,所述齿轮装置的制造方法包括以下工序:准备以球状石墨铸铁为主材料的内齿齿轮用构件;以及对所述内齿齿轮用构件实施淬火和回火处理或奥氏体回火处理,得到所述内齿齿轮。

附图说明

[0009] 图1是表示本发明的实施方式涉及的机器人的概略构成的侧视图。

[0010] 图2是表示本发明的第一实施方式涉及的齿轮装置的纵截面图。

[0011] 图3是图2所示的齿轮装置主体的主视图(从轴线a方向观察时的图)。

[0012] 图4是表示图2所示的齿轮装置所具备的柔性齿轮的外齿的表面状态的截面图。

[0013] 图5是表示本发明的第二实施方式涉及的齿轮装置的纵截面图。

[0014] 图6是表示本发明的齿轮装置的制造方法的实施方式的工序图。

[0015] 图7是实施例4的刚性齿轮的研磨面在扫描型电子显微镜下的观察像。

[0016] 图8是实施例26的刚性齿轮的研磨面在扫描型电子显微镜下的观察像。

[0017] 图9是比较例1的刚性齿轮的研磨面在扫描型电子显微镜下的观察像。

[0018] 附图标记说明

[0019] 1…齿轮装置主体、1B…齿轮装置主体、2…刚性齿轮、3…柔性齿轮、3B…柔性齿轮、4…波动发生器、5…壳体、5B…壳体、10…齿轮装置、10B…齿轮装置、11…盖体、11B…盖体、12…主体、13…轴承、14…轴承、15…内轮、16…外轮、17…滚子、18…交叉滚子轴承、23…内齿、31…主体部、32…底部、32B…凸缘部、33…外齿、36…开口部、41…凸轮、42…轴承、61…轴、62…轴、80…减速比、100…机器人、110…基台、111…内壁面、111B…内壁面、120…第一臂、121…内壁面、130…第二臂、140…作业头、141…花键轴、150…末端执行器、151…内壁面、160…布线走线部、170…电机、190…控制装置、411…轴部、412…凸轮部、421…内轮、422…滚珠、423…外轮、G…润滑剂、J1…第一轴、J2…第二轴、J3…第三轴、La…长轴、Lb…短轴、S1…构件准备工序、S2…热处理工序、S3…组装工序、a…轴线。

具体实施方式

[0020] 以下,基于附图所示的优选实施方式详细说明本发明的机器人、齿轮装置以及齿轮装置的制造方法。

[0021] 1. 机器人

[0022] 首先,简单地说明本发明的机器人的实施方式。

[0023] 图1是表示本发明的实施方式涉及的机器人的概略构成的侧视图。此外,以下为了便于说明,将图1中的上侧称为“上”,将下侧称为“下”。另外,将图1中的基台侧称为“基台侧”,将与其相反的一侧(末端执行器侧)称为“前端侧”。另外,将图1的上下方向设为“铅直方向”,将左右方向设为“水平方向”。

[0024] 图1所示的机器人100例如是在精密设备或构成精密设备的零部件(对象物)的供料、卸料、输送以及组装等作业中使用的机器人。如图1所示,该机器人100具有基台110、第一臂120、第二臂130、作业头140、末端执行器150以及布线走线部160。以下,依次简单地说明机器人100的各部。

[0025] 基台110例如通过螺栓等固定到未图示的地板。在基台110的内部设置有总体控制机器人100的控制装置190。另外,在基台110上连结有第一臂120,第一臂120能够相对于基台110绕沿着铅直方向的第一轴J1(转动轴)转动。即,第一臂120相对于基台110相对地转动。

[0026] 在此,在基台110内设置有:产生使第一臂120转动的驱动力的伺服电机等作为第

一电机的电机170(驱动源);以及将电机170的驱动力的旋转减速的作为第一减速器的齿轮装置10。齿轮装置10的输入轴与电机170的旋转轴连结,齿轮装置10的输出轴与第一臂120连结。因此,在电机170驱动,其驱动力经由齿轮装置10传递到第一臂120时,第一臂120相对于基台110绕第一轴J1在水平面内相对地转动。即,电机170是向齿轮装置10输出驱动力的驱动源。

[0027] 在第一臂120的前端部连结有第二臂130,第二臂130能够相对于第一臂120绕沿着铅直方向的第二轴J2(转动轴)转动。在第二臂130内虽然未图示但设置有产生使第二臂130转动的驱动力的第二电机和将第二电机的驱动力的旋转减速的第二减速器。于是,第二电机的驱动力经由第二减速器传递到第二臂130,由此,第二臂130相对于第一臂120绕第二轴J2在水平面内转动。

[0028] 在第二臂130的前端部配置有作业头140。作业头140具有插通在第二臂130的前端部同轴配置的花键螺母和滚珠丝杠螺母(均未图示)的花键轴141。花键轴141能够相对于第二臂130绕图1所示的第三轴J3旋转,并且能够在上下方向上移动(升降)。

[0029] 在第二臂130内虽然未图示但配置有旋转电机和升降电机。旋转电机的驱动力通过未图示的驱动力传递机构传递到花键螺母,在花键螺母正反旋转时,花键轴141绕沿着铅直方向的第三轴J3正反旋转。

[0030] 另一方面,升降电机的驱动力通过未图示的驱动力传递机构传递到滚珠丝杠螺母,在滚珠丝杠螺母正反旋转时,花键轴141上下移动。

[0031] 在花键轴141的前端部(下端部)连结有末端执行器150。作为末端执行器150,没有特别限定,例如可举出把持被输送物的末端执行器、加工被加工物的末端执行器等。

[0032] 与配置于第二臂130内的各电子部件(例如第二电机、旋转电机、升降电机等)连接的多个布线在通过连结第二臂130和基台110的管状的布线走线部160内后走线到基台110内。进而,这样的多个布线在基台110内汇集而与连接到电机170和未图示的编码器的布线一起走线到设置于基台110内的控制装置190。

[0033] 如上所述,机器人100具备:作为第一构件的基台110;作为第二构件的第一臂120,其设置成能够相对于基台110转动;齿轮装置10,其从基台110和第一臂120的一侧向另一侧传递驱动力;以及作为驱动源的电机170,其向齿轮装置10输出驱动力。

[0034] 此外,也可以将第一臂120和第二臂130统一理解为“第二构件”。另外,“第二构件”除了第一臂120和第二臂130以外,还可以包括作业头140和末端执行器150。

[0035] 另外,在本实施方式中,第一减速器包括齿轮装置10,但也可以是第二减速器包括齿轮装置10,另外,也可以是第一减速器和第二减速器双方包括齿轮装置10。在第二减速器包括齿轮装置10的情况下,将第一臂120理解为“第一构件”,将第二臂130理解为“第二构件”即可。另外,也可以代替齿轮装置10而使用后述的齿轮装置10B。

[0036] 另外,在本实施方式中,电机170和齿轮装置10设置于基台110,但也可以是电机170和齿轮装置10设置于第一臂120。在该情况下,将齿轮装置10的输出轴与基台110连结即可。

[0037] 2. 齿轮装置

[0038] 以下,说明本发明的齿轮装置的实施方式。

[0039] <第一实施方式>

[0040] 图2是表示本发明的第一实施方式涉及的齿轮装置的纵截面图。图3是图2所示的齿轮装置主体的主视图(从轴线a方向观察时的图)。图4是表示图2所示的齿轮装置所具备的柔性齿轮的外齿的表面状态的截面图。此外,在各图中,为了便于说明,根据需要各部尺寸适当地夸张后进行了图示,另外,各部之间的尺寸比不一定与实际尺寸比一致。

[0041] 图2所示的齿轮装置10是波动齿轮装置,例如作为减速器使用。该齿轮装置10具有齿轮装置主体1和收纳有齿轮装置主体1的壳体5,它们被一体化。在此,在齿轮装置10的壳体5内配置有润滑剂G。以下,说明齿轮装置10的各部。此外,壳体5根据需要设置即可,也可以省略。

[0042] (齿轮装置主体)

[0043] 齿轮装置主体1具有:作为内齿齿轮的刚性齿轮2;作为外齿齿轮的柔性齿轮3,呈杯型,并配置于刚性齿轮2的内侧;以及波动发生器4,配置于柔性齿轮3的内侧。

[0044] 在本实施方式中,刚性齿轮2通过壳体5固定(连接)到上述机器人100的基台110(第一构件),柔性齿轮3连接到上述机器人100的第一臂120(第二构件),波动发生器4连接到配置于上述机器人100的基台110的电机170的旋转轴。

[0045] 在电机170的旋转轴旋转(即产生驱动力)时,波动发生器4以与电机170的旋转轴相同的旋转速度旋转。然后,刚性齿轮2和柔性齿轮3由于齿数相互不同,因此,一边相互啮合的位置在周向上移动,一边绕轴线a相对旋转。在本实施方式中,刚性齿轮2的齿数多于柔性齿轮3的齿数,因此能够使柔性齿轮3以比电机170的旋转轴的旋转速度低的旋转速度旋转。即,能够实现以波动发生器4为输入轴侧、以柔性齿轮3为输出轴侧的减速器。

[0046] 此外,即使根据壳体5的形态而将柔性齿轮3固定(连接)到基台110并将刚性齿轮2连接到第一臂120,也能够将齿轮装置10作为减速器使用。另外,即使将电机170的旋转轴连接到柔性齿轮3,也能够将齿轮装置10作为减速器使用,在该情况下,将波动发生器4固定(连接)到基台110,将刚性齿轮2连接到第一臂120即可。另外,在将齿轮装置10作为增速器使用的情况下(在使柔性齿轮3以比电机170的旋转轴的旋转速度快的旋转速度旋转的情况下),只要使上述的输入侧与输出侧的关系相反即可。

[0047] 如图2和图3所示,刚性齿轮2是由在径向上实质上不挠曲的刚体构成的齿轮,并且是具有内齿23的环状的内齿齿轮。在本实施方式中,刚性齿轮2是平齿轮。即,内齿23具有与轴线a平行的齿线。此外,内齿23的齿线也可以相对于轴线a倾斜。即,刚性齿轮2也可以是斜齿轮或人字齿轮。

[0048] 如图2和图3所示,柔性齿轮3插通至刚性齿轮2的内侧。该柔性齿轮3是具有能够在径向上挠曲变形的柔性的齿轮,并且是具有与刚性齿轮2的内齿23的一部分啮合的外齿33(齿)的外齿齿轮。另外,柔性齿轮3的齿数比刚性齿轮2的齿数少。由于像这样地柔性齿轮3和刚性齿轮2的齿数相互不同,所以能够实现减速器。

[0049] 在本实施方式中,柔性齿轮3呈具有轴线a方向上的一端(图2中右侧的端部)开口而成的开口部36的杯状,从该开口部36向另一端形成有外齿33。在此,柔性齿轮3具有:绕轴线a的筒状(更具体地是圆筒状)的主体部31(筒部)、以及与主体部31的轴线a方向上的另一端部连接的底部32。由此,与主体部31的底部32相比,开口部36的端部更易于在径向上挠曲,因此,能够实现柔性齿轮3与刚性齿轮2的良好的挠曲啮合。进而,能够提高与轴62(例如输出轴)连接的底部32的刚性。由此,齿轮装置10其齿隙非常小,适合反复进行反转的用途,

另外,同时啮合齿数的比率大,所以施加于1个齿的力变小,也能够得到高扭矩容量。此外,由于能够用于这样的严苛的用途,因此对润滑剂要求高润滑性能。

[0050] 如图2和图3所示,波动发生器4配置于柔性齿轮3的内侧,能够绕轴线a旋转。于是,波动发生器4通过使柔性齿轮3的开口部36的横截面变形为具有长轴La和短轴Lb的椭圆形或长圆形,从而使柔性齿轮3的外齿33与刚性齿轮2的内齿23啮合。在此,柔性齿轮3和刚性齿轮2以能够绕同一轴线a旋转的方式相互在内外啮合。

[0051] 在本实施方式中,波动发生器4具有凸轮41和装配于凸轮41的外周的轴承42。凸轮41具有绕轴线a旋转的轴部411和从轴部411的一端部向外侧突出的凸轮部412。

[0052] 在轴部411上连接有轴61(例如输入轴)。在从沿着轴线a的方向观察时,凸轮部412的外周面呈椭圆形或长圆形。轴承42具有柔性的内轮421和外轮423以及配置于它们之间的多个滚珠422。在此,内轮421嵌入凸轮41的凸轮部412的外周面,沿着凸轮部412的外周面弹性变形为椭圆形或长圆形。与此相伴地,外轮423也弹性变形为椭圆形或长圆形。另外,内轮421的外周面和外轮423的内周面分别具有对多个滚珠422沿着周向一面进行引导一面使其滚动的轨道面。另外,多个滚珠422为了将彼此在周向上的间隔保持为一定而由未图示的保持器保持。此外,在轴承42内配置有未图示的润滑脂。该润滑脂既可以与后述的润滑剂G相同,也可以不同。

[0053] 这样的波动发生器4伴随着凸轮41绕轴线a的旋转,凸轮部412的方向发生变化,与之相伴地,外轮423的外周面也发生变形,使刚性齿轮2和柔性齿轮3相互的啮合位置在周向上移动。

[0054] 另外,刚性齿轮2、柔性齿轮3以及波动发生器4分别由铁类材料等金属材料构成。

[0055] 特别是,柔性齿轮3(外齿齿轮)的构成材料以镍铬钼钢为主材料。镍铬钼钢通过适当的热处理而成为强韧的钢,机械特性(特别是疲劳强度)优异,因此可以说适合作为重复应力作用的柔性齿轮3的构成材料。

[0056] 作为镍铬钼钢,例如可举出在JIS G 4053:2016中规定的种类的钢材。具体地,作为JIS标准中规定的编号,可举出SNCM220、SNCM240、SNCM415、SNCM420、SNCM431、SNCM439、SNCM447、SNCM616、SNCM625、SNCM630、SNCM815等。其中,作为用作柔性齿轮3的构成材料的镍铬钼钢,从机械特性优异的角度出发,特别优选使用SNCM439。

[0057] 此外,柔性齿轮3的构成材料也可以包括镍铬钼钢以外的材料。即,柔性齿轮3也可以由镍铬钼钢与其以外的材料复合而成的复合材料构成。不过,只要是镍铬钼钢与其以外的材料相比在整体中所占的比率(质量%)更多的构成即可,即镍铬钼钢是主材料即可。

[0058] 另一方面,刚性齿轮2(内齿齿轮)的构成材料以球状石墨铸铁为主材料。球状石墨铸铁也被称为球墨铸铁,是结晶出呈球状的石墨的铸铁。在这样的球状石墨铸铁中,通过在基质中石墨成球状地分散,由此,石墨不易成为龟裂的起点,因此,例如与片状石墨铸铁相比能够最大限度地发挥基质的强度。其结果是,球状石墨铸铁成为强度、韧性优异的铸铁。另外,球状石墨铸铁通过后述的热处理而具有足够的强度和韧性。因此,能够实现刚性齿轮2的长寿命化。

[0059] 另外,球状石墨铸铁所包含的石墨起到润滑剂的作用,因此,刚性齿轮2的内齿23不易胶着。因此,能够实现刚性齿轮2的进一步的低磨损化。

[0060] 加之,球状石墨铸铁能够将传来的振动在石墨与基质的边界处转换为热能而使其

消失。因此,能够降低在刚性齿轮2上产生的振动、噪声。

[0061] 进而,球状石墨铸铁的热传导率高,散热性优异。因此,刚性齿轮2的散热性也提高,能够抑制刚性齿轮2显著地成为高温,因此,能够实现齿轮装置10的长寿命化。

[0062] 此外,齿轮装置10的寿命例如是指从齿轮装置10开始使用起到齿轮装置10的任一部位产生损伤为止的时间。作为这样的损伤,可举出例如刚性齿轮2或柔性齿轮3断裂。

[0063] 作为球状石墨铸铁,例如可举出在JIS G 5502:2001中规定的种类的材料。具体地,作为JIS标准中规定的编号,可举出FCD350-22、FCD350-22L、FCD400-18、FCD400-18L、FCD400-15、FCD400-10、FCD450-10、FCD500-7、FCD600-3、FCD700-2、FCD800-2等。

[0064] 另外,作为球状石墨铸铁的合金组成,例如可举出以Fe(铁)为主成分并按照C(碳):2.0质量%以上且6.0质量%以下、Si(硅):0.5质量%以上且3.5质量%以下、Mn(锰):0.4质量%以上且1.0质量%以下包含各组分的组成。进而,球状石墨铸铁也可以包含Cu(铜)、Ni(镍)、Cr(铬)、Sn(锡)、Mg(镁)等。

[0065] 此外,刚性齿轮2的构成材料是完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁。

[0066] 通过对球状石墨铸铁实施淬火和回火处理,能够使基质组织从马氏体组织变化为微细渗碳体(Fe_3C)与铁素体(α 固溶体)的混合组织,特别优选能够变化为索氏体组织。因而,刚性齿轮2的构成材料优选在分散有石墨的基质中包含索氏体组织、即包括含有索氏体组织的球状石墨铸铁。由此,能够一面维持机械强度,一面对球状石墨铸铁提供良好的韧性和伸长率,能够实现耐久性特别好的刚性齿轮2。

[0067] 此外,索氏体组织是指微细渗碳体与铁素体的混合组织且是微细渗碳体为粒状的组织。此时,呈粒状的渗碳体被认为是至少一部分具有在倍率400倍的光学显微镜下被看见的程度的大小的组织。通过包含具有这样的适度的粒径且呈粒状(球状)的渗碳体组织,从而索氏体组织有助于实现具有特别好的韧性和伸长率的刚性齿轮2。此外,也可以在基质中混合存在索氏体组织以外的组织。

[0068] 这样的包含索氏体组织的球状石墨铸铁的拉伸强度虽然没有特别限定,但优选是600MPa以上,更优选是650MPa以上且1200MPa以下。由此,能够实现特别长寿命的齿轮装置10。

[0069] 此外,在拉伸强度的测定中,例如使用JIS14A号试验片,将用试验片的平行部的截面积除试验片耐受的最大载荷(断裂载荷)而得到的值设为上述拉伸强度。

[0070] 另外,这样的包含索氏体组织的球状石墨铸铁的伸长率虽然没有特别限定,但优选是10%以上,更优选是12%以上且25%以下。由此,能够实现特别长寿命的齿轮装置10。

[0071] 此外,在伸长率的测定中,例如使用JIS14B号试验片,将直至试验片断裂为止的最大伸长率(断裂伸长率)设为上述伸长率。

[0072] 另外,通过代替上述的淬火和回火处理而对球状石墨铸铁实施奥氏体回火处理,能够使基质组织变化为贝氏体组织。因而,刚性齿轮2的构成材料优选在分散有石墨的基质中包含贝氏体组织、即包括含有贝氏体组织的球状石墨铸铁。由此,能够一面维持机械强度,一面对球状石墨铸铁提供良好的韧性,能够实现耐久性特别好的刚性齿轮2。

[0073] 此外,贝氏体组织是指以奥氏体化温度(例如820℃以上且900℃以下程度)加热钢之后供于奥氏体回火处理(恒温相变处理)而生成的组织,一般包含针状组织。这样的贝氏

体组织有助于实现具有特别好的机械强度的刚性齿轮2。此外,也可以在基质中混合存在贝氏体组织以外的组织。

[0074] 这样的包含贝氏体组织的球状石墨铸铁的拉伸强度虽然没有特别限定,但优选是700MPa以上,更优选是800MPa以上且1250MPa以下。由此,能够实现特别长寿命的齿轮装置10。此外,拉伸强度的测定方法与上述的方法相同。

[0075] 另外,这样的包含贝氏体组织的球状石墨铸铁的伸长率虽然没有特别限定,但优选是1%以上,更优选是2%以上且10%以下。由此,能够实现特别长寿命的齿轮装置10。此外,伸长率的测定方法与上述的方法相同。

[0076] 另外,特别是从疲劳强度的角度出发,与包含贝氏体组织的球状石墨铸铁相比,更优选包含索氏体组织的球状石墨铸铁。由此,能够实现尤其长寿命的齿轮装置10。

[0077] 如上所述,通过使用完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁,能够实现特别长寿命的齿轮装置10。

[0078] 另外,刚性齿轮2的构成材料也可以包括这样的完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁以外的材料。即,刚性齿轮2也可以由完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁与其以外的材料复合而成的复合材料构成。不过,只要是完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁比其以外的材料在整体所占的比率(质量%)更多的构成即可,即完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁是主材料即可。

[0079] 另外,优选刚性齿轮2(内齿齿轮)的表面的维氏硬度在柔性齿轮3(外齿齿轮)的表面的维氏硬度以下。由此,刚性齿轮2的内齿23的表面适度地磨损,从而来源于刚性齿轮2所包含的球状石墨铸铁的石墨露出,由此,内齿23的表面的润滑性提高。其结果是,在刚性齿轮2的内齿23的表面不易产生与柔性齿轮3的外齿33的表面胶着相伴的磨损,能够实现齿轮装置10的长寿命化。

[0080] 此外,维氏硬度是按照JIS Z 2244:2009中规定的维氏硬度试验-试验方法而测定的。在此,将压头的试验力设为9.8N(1kgf),试验力的保持时间设为15秒。然后,将10处的测定结果的平均值设为上述维氏硬度。

[0081] 另外,柔性齿轮3(外齿齿轮)的表面的维氏硬度优选在400以上且520以下的范围内,更优选在450以上且520以下的范围内。由此,能够实现柔性齿轮3的机械强度与韧性的平衡,能够适当地延长柔性齿轮3的寿命。与此相对地,若这样的维氏硬度过低,则柔性齿轮3的强度不充分,有可能柔性齿轮3耐受不了荷载应力而易于损坏。另一方面,若这样的维氏硬度过高,则柔性齿轮3的韧性降低,显示出易于因冲击等而损坏的倾向,另外,使刚性齿轮2的磨损过度地进行,有可能使齿轮装置10的耐久性下降。

[0082] 另外,刚性齿轮2(内齿齿轮)的表面的维氏硬度优选在300以上且450以下的范围内,更优选在320以上且400以下的范围内。由此,能够实现刚性齿轮2的机械强度与韧性的平衡,能够适当地延长刚性齿轮2的寿命。与此相对地,若这样的维氏硬度过低,则刚性齿轮2的磨损过度地进行,齿轮装置10的传递效率有可能降低。另外,刚性齿轮2有可能耐受不了荷载应力而易于损坏。另一方面,若这样的维氏硬度过高,则刚性齿轮2与柔性齿轮3啮合时的冲击变大,有可能使柔性齿轮3损坏或者齿轮装置10的耐久性下降。

[0083] 另外,优选对柔性齿轮3的至少外齿33的表面赋予压缩残余应力。由此,能够实现提高外齿33的疲劳强度且还耐受高荷载应力的柔性齿轮3,其结果是,能够提高齿轮装置10的耐久性。

[0084] 在此,为了得到上述那样的效果,柔性齿轮3的残余应力(压缩残余应力)优选在-950MPa以上且-450MPa以下的范围内,更优选在-950MPa以上且-550MPa以下的范围内,进一步优选在-950MPa以上且-750MPa以下的范围内。与此相对地,若这样的残余应力的绝对值过小,则显示出上述的效果减少的倾向。另一方面,若这样的残余应力的绝对值过大,则显示出与赋予残余应力相伴的外齿33的变形过大、不易进行齿轮装置10的适当的运转的倾向。

[0085] 另外,这样的压缩残余应力能够通过对柔性齿轮3的表面实施喷丸处理来提供。在像这样地对柔性齿轮3的表面实施了喷丸处理时,如图4所示,在柔性齿轮3的表面形成微细的凹凸。由此,能够易于使润滑剂G保持于柔性齿轮3的表面。其结果是,能够提高齿轮装置10的耐久性。

[0086] 在此,柔性齿轮3(外齿齿轮)的外齿33的表面粗糙度Ra1优选在 $0.2\mu\text{m}$ 以上且 $1.6\mu\text{m}$ 以下的范围内,更优选在 $0.2\mu\text{m}$ 以上且 $0.8\mu\text{m}$ 以下的范围内。由此,能够一面减少刚性齿轮2的磨损,一面易于在柔性齿轮3的外齿33上保持润滑脂(润滑剂G)而适当地延长柔性齿轮3和刚性齿轮2的寿命。与此相对地,若这样的表面粗糙度过小,则显示出在柔性齿轮3的外齿33上易于保持润滑脂(润滑剂G)的效果变小的倾向。另一方面,若这样的表面粗糙度过大,则显示出外齿33的齿面的接触阻力变大、齿轮装置10的效率降低且刚性齿轮2易于磨损、使齿轮装置10的耐久性下降的倾向。需要指出,表面粗糙度Ra1是指外齿33的算术平均粗糙度Ra,是按照JIS B 0601:2013中规定的方法来测定的。

[0087] 另外,优选柔性齿轮3(外齿齿轮)的外齿33的表面粗糙度Ra1大于刚性齿轮2(内齿齿轮)的内齿23的表面粗糙度Ra2。由此,能够一面在柔性齿轮3的外齿33上易于保持润滑脂(润滑剂G),一面减少柔性齿轮3与刚性齿轮2的接触阻力,适当地延长柔性齿轮3和刚性齿轮2的寿命。

[0088] 另一方面,刚性齿轮2(内齿齿轮)的内齿23的表面粗糙度Ra2优选在 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $0.8\mu\text{m}$ 以下的范围内,更优选在 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $0.4\mu\text{m}$ 以下的范围内。由此,能够一面降低刚性齿轮2的制造成本,一面减小柔性齿轮3与刚性齿轮2的接触阻力。与此相对地,若这样的表面粗糙度过小,则按用于加工内齿23的齿形表面的成本变大来看,效率提高的效果小。另一方面,若这样的表面粗糙度过大,则显示出内齿23的齿面的接触阻力变大、齿轮装置10的效率降低的倾向。需要指出,表面粗糙度Ra2是指内齿23的算术平均粗糙度Ra,是按照JIS B 0601:2013中规定的方法来测定的。

[0089] 另外,优选柔性齿轮3(外齿齿轮)的构成材料的平均结晶粒径小于刚性齿轮2(内齿齿轮)的构成材料的平均结晶粒径。通过这样的内齿23和外齿33的构成材料的平均结晶粒径的大小关系,能够减小外齿33的结晶粒径,易于使润滑剂G保持于外齿33上。因此,能够抵抗外齿33的旋转所致的离心力而将润滑剂G留在外齿33上。在此,润滑剂G优先保持于存在于外齿33的表面的晶界。这考虑是因为该晶界起到收纳润滑剂G的细微的凹部或槽那样的作用。因而,通过减小外齿33的结晶粒径,存在于外齿33的表面的晶界的密度变高,与此相伴地,易于在外齿33的表面保持润滑剂G。

[0090] 另外,在减小了外齿33的结晶粒径时,能够提高外齿33的机械强度,并且提高外齿33的韧性。外齿33如上所述地随着刚性齿轮2和柔性齿轮3相互的啮合位置的移动而反复变形,所以要求比内齿23更高的机械强度和韧性。因此,提高外齿33的机械强度和韧性是极其有益的。需要指出,一般而言,金属的机械强度与结晶粒径的 $1/2$ 次方成反比地提高。

[0091] 另一方面,通过上述那样的内齿23和外齿33的构成材料的平均结晶粒径的大小关系,能够增大内齿23的结晶粒径,使润滑剂G易于沿着内齿23上流动。因此,能够减少润滑剂G在内齿23上不均匀存在或固化。在此,由于内齿23不旋转,因此在内齿23上不会作用上述外齿33那样的离心力,因此具有原本就易于保持润滑剂G的倾向。因此,通过使内齿23上的润滑剂G易于流动,从而防止润滑剂G的固着或者在所需部位处油量不足。由此,能够充分地发挥润滑剂G的性能。

[0092] 这样,在齿轮装置10中,能够同时发挥上述那样的将润滑剂G留在外齿33上的效果以及减少润滑剂G在内齿23上不均匀存在或固化的效果这两效果。并且,这两效果协同作用,能够有效地提高润滑剂G的润滑寿命。特别是在齿轮装置10那样的波动齿轮装置中,一般而言,内齿轮和外齿轮以极小的齿隙相互啮合,因此对润滑剂的润滑寿命的要求极高。因此,若在这样的齿轮装置中应用本发明,则其效果显著。

[0093] 在此,“平均结晶粒径”是按照JIS G 0551:2013“钢-结晶粒度的显微镜试验方法”来测定的。当测定该平均结晶粒径时,利用腐蚀液蚀刻试验片(内齿或外齿)的表面而使晶界出现,并对该出现的晶界进行显微镜观察来进行,作为腐蚀液,使用5%硝酸酒精(5%硝酸-乙醇)或苦味酸水溶液基质的腐蚀液(2%苦味酸-0.2%氯化钠-0.1%硫酸-蒸馏水)。另外,上述那样的平均结晶粒径的大小关系只要至少在内齿23和外齿33中满足即可,在刚性齿轮2和柔性齿轮3的其它部分彼此中也可以不满足,但在其它部分彼此中也满足时,其效果显著。另外,内齿23和外齿33的结晶粒径例如能够根据构成它们的材料(金属组成)和制造时的热处理等来调整。

[0094] 在将外齿33的构成材料的平均结晶粒径设为A、将内齿23的构成材料的平均结晶粒径设为B时,如上所述,A和B满足 $A < B$ 的关系即可,但在适当地发挥上述那样的两种效果上,优选是 $1.2 \leq B/A \leq 100$,更优选是 $2 \leq B/A \leq 50$ 。与此相对地,若 B/A 过小,则显示出上述的两种效果的平衡变差的倾向,另一方面,若 B/A 过大,则显示出内齿23与外齿33的强度差过大、内齿23和外齿33中的一方的磨损变快的倾向。

[0095] 内齿23的构成材料的平均结晶粒径优选在 $20\mu\text{m}$ 以上且 $150\mu\text{m}$ 以下的范围内,更优选在 $30\mu\text{m}$ 以上且 $100\mu\text{m}$ 以下的范围内,进一步优选在 $30\mu\text{m}$ 以上且 $50\mu\text{m}$ 以下的范围内。由此,能够使润滑剂G沿着内齿23上更有效地流动。另外,在内齿23由金属构成的情况下,能够使内齿23的机械强度优异。与此相对地,若这样的平均结晶粒径过小,则显示出在内齿23上的润滑剂G的流动性下降的倾向。另一方面,若这样的平均结晶粒径过大,则根据内齿23的构成材料的不同,有时内齿23的强度会不足。需要指出,在整个刚性齿轮2中,若满足上述的平均结晶粒径的范围,则上述效果显著。

[0096] 另一方面,外齿33的构成材料的平均结晶粒径优选在 $0.5\mu\text{m}$ 以上且 $30\mu\text{m}$ 以下的范围内,更优选在 $5\mu\text{m}$ 以上且 $20\mu\text{m}$ 以下的范围内,进一步优选在 $5\mu\text{m}$ 以上且 $15\mu\text{m}$ 以下的范围内。由此,能够使润滑剂G更有效地保持于外齿33上。另外,在外齿33由金属构成的情况下,能够使外齿33的机械强度优异。与此相对地,若这样的平均结晶粒径过小,则制造外齿33时的加

工性变差,另外,在外齿33的表面存在的晶界所致的凹部的深度也变小,因此反而不易将润滑剂G保持于外齿33上。另一方面,若这样的平均结晶粒径过大,则显示出将润滑剂G保持于外齿33上的效果下降的倾向,另外,不易确保外齿33所需的机械强度和韧性。需要指出,在整个柔性齿轮3中,若满足上述的平均结晶粒径的范围,则上述效果显著。

[0097] 另外,也可以在柔性齿轮3的构成材料和刚性齿轮2的构成材料中在0.01质量%以上且2质量%以下的范围内添加上述材料以外的材料。特别是,优选柔性齿轮3(外齿齿轮)的构成材料在0.01质量%以上且0.5质量%以下的范围内包含第四族元素或第五族元素。由此,即使在柔性齿轮3的制造过程中实施热处理,也能抑制构成柔性齿轮3的铁类材料的晶粒的成长,减小结晶粒径。因此,能够提高柔性齿轮3的机械强度。另外,根据具备这样的柔性齿轮3的齿轮装置10,通过提高柔性齿轮3的机械强度,从而能够提高齿轮装置10的耐久性。

[0098] 在此,作为添加元素,如上所述,使用第四族元素或第五族元素即可,但优选将钛(Ti)、锆(Zr)、铪(Hf)、钒(V)、铌(Nb)以及钽(Ta)中的一种单独使用或者组合两种以上进行使用,更优选包含锆(Zr)和铌(Nb)中的至少一方,进一步优选包含锆(Zr)和铌(Nb)双方。由此,能够更有效地发挥对构成柔性齿轮3的铁类材料的晶粒的成长进行抑制的效果(以下也称为“晶粒成长抑制效果”)。需要指出,柔性齿轮3的构成材料中也可以包含第四族元素和第五族元素以外的元素,例如从有效地抑制构成柔性齿轮3的铁类材料的晶粒的成长的角度的出发,也可以包含钇(Y)。

[0099] 另外,柔性齿轮3的构成材料中的添加元素的含量(添加量)优选在0.05质量%以上且0.3质量%以下的范围内,更优选在0.1质量%以上且0.2质量%以下的范围内。由此,能够更有效地发挥晶粒成长抑制效果。与此相对地,若这样的含量过少,则晶粒成长抑制效果有可能显著减少。另一方面,若这样的含量过多,则不仅无法在此之上地得到晶粒成长抑制效果,甚至有可能使柔性齿轮3的韧性变低,反而使柔性齿轮3的机械强度下降或者使制造柔性齿轮3时的加工性变得极差。

[0100] (壳体)

[0101] 图2所示的壳体5具有:大致板状的盖体11,其通过轴承13支承轴61(例如输入轴);以及杯状的主体12,其通过轴承14支承轴62(例如输出轴)。在此,盖体11与主体12被连结(固定)而构成空间,在该空间内收纳有上述的齿轮装置主体1的刚性齿轮2。

[0102] 盖体11的内壁面111以覆盖柔性齿轮3的开口部36的方式形成为在与轴线a垂直的方向上扩展的形状。另外,主体12的内壁面121形成为沿着柔性齿轮3的外周面和底面的形状。这样的壳体5固定于上述的机器人100的基台110。在此,盖体11既可以与基台110分体,例如通过螺纹紧固等固定于基台110,也可以与基台110是一体的。另外,作为壳体5(盖体11、主体12)的构成材料,虽然没有特别限定,但可举出例如金属材料、陶瓷材料等。

[0103] (润滑剂)

[0104] 润滑剂G例如是润滑脂(半固体状润滑剂),配置于作为润滑对象部的刚性齿轮2与柔性齿轮3之间(啮合部)以及作为润滑对象部的柔性齿轮3与波动发生器4之间(接触部/滑动部)中的至少一方(以下也简称为“润滑对象部”)。由此,能够减少该润滑对象部的摩擦。

[0105] 这样,齿轮装置10具备配置于刚性齿轮2(内齿齿轮)与柔性齿轮3(外齿齿轮)之间

的润滑剂G。优选该润滑剂G包含基础油、增稠剂以及有机钼化合物,并且该润滑剂G的分油度在4质量%以上且13.8质量%以下的范围内。由于润滑剂G包含有机钼化合物,所以能够有效地减少刚性齿轮2与柔性齿轮3的啮合部的摩擦。而且,由于该润滑剂G的分油度在4质量%以上且13.8质量%以下的范围内,所以即使该润滑剂G包含有机钼化合物,也不易阻碍基础油从增稠剂渗出,能够向柔性齿轮3与波动发生器4的接触部稳定地供应基础油。其结果是,能够适当地延长柔性齿轮3和刚性齿轮2的寿命。

[0106] 作为基础油,例如可举出石蜡类、环烷类等矿物油(精制矿物油)、聚烯烃、酯、硅酮等合成油,能够将它们中的一种单独使用或者将两种以上组合后使用。另外,作为增稠剂,例如可举出钙皂、钙复合皂、钠皂、铝皂、锂皂、锂复合皂等皂类,另外,可举出聚脲、对苯二甲酸钠、聚四氟乙烯(PTFE)、有机膨润土、硅胶等非皂类等,能够将它们中的一种单独使用或者将两种以上组合后使用。这样,在包含基础油和增稠剂作为组分的润滑剂G(润滑脂)中,增稠剂所形成的三维结构体复杂地络合来保持基础油,通过使该保持的基础油一点点渗出来发挥润滑作用。

[0107] 在此,优选润滑剂G中的基础油的含量是75质量%以上且85质量%以下,并且润滑剂G中的增稠剂的含量是10质量%以上且20质量%以下。由此,能够提高润滑剂G的润滑性能。

[0108] 另外,有机钼化合物作为固体润滑剂或极压剂发挥功能。由此,能够有效地减少润滑对象部的摩擦,即使润滑对象部成为极压润滑状态,也能够有效地防止热粘、划痕。特别是,有机钼化合物发挥与二硫化钼同等的极压性和耐磨损性,而且与二硫化钼相比,氧化稳定性优异。因此,能够实现润滑剂G的长寿命化。

[0109] 在此,有机钼化合物在粒子状态下添加到润滑剂G,在齿轮装置10中使用时,具有通过进行分解反应而在润滑对象部形成被膜来减小摩擦系数的效果。因此,有机钼化合物适合以极小的齿隙啮合的刚性齿轮2与柔性齿轮3的啮合部、柔性齿轮3与波动发生器4之间的极小的间隙的润滑。与此相对地,在二硫化钼的情况下,为了减小润滑对象部的摩擦,即使附着于润滑对象部,也必须维持粒子状态,不可说适合刚性齿轮2与柔性齿轮3的啮合部、柔性齿轮3与波动发生器4的接触部处的润滑。

[0110] 另外,优选润滑剂G中的有机钼化合物的含量例如是1质量%以上且5质量%以下。由此,易于发挥有机钼化合物作为极压剂的性能,润滑剂G的特性提高显著。需要指出,作为极压剂或固体润滑剂,除了有机钼化合物以外,也可以并用二烷基二硫代磷酸锌等其它极压剂。

[0111] 在此,有机钼化合物的平均粒径一般是10 μ m左右,比较大。因此,若仅对润滑剂G添加有机钼化合物,则由于有机钼化合物的粒子的影响,润滑剂G的基础油从增稠剂的渗出受到阻碍而变少,有时会导致润滑对象部的润滑不足。例如,柔性齿轮3与波动发生器4的接触部由于其间隙小,所以不易被供应润滑脂整体,被供应从增稠剂渗出的基础油是重要的,因此易于导致润滑不足。

[0112] 于是,润滑剂G的分油度优选在4质量%以上且13.8质量%以下的范围内,更优选在6质量%以上且11质量%以下的范围内,进一步优选在6质量%以上且10质量%以下的范围内。由此,不易阻碍润滑剂G的基础油从增稠剂渗出,能够向润滑对象部(特别是柔性齿轮3与波动发生器4的接触部)稳定地供应基础油。这样,该润滑剂G一面发挥有机钼化合物所

带来的优异的摩擦减少效果,一面通过基础油从增稠剂渗出而能够向润滑对象部稳定地供应基础油,其结果是,能够实现齿轮装置10的长寿命化。此外,“分油度”是表示使基础油从增稠剂渗出的能力的指标,是按照JIS K2220:2013中规定的测定方法来测定的。

[0113] 在此,从提高上述那样的润滑剂G的分油度的效果的角度出发,对润滑剂G添加的有机钼化合物(固体润滑剂或极压剂)的平均粒径优选在 $1\mu\text{m}$ 以上且 $10\mu\text{m}$ 以下的范围内。

[0114] 另外,分油度显示出稠度越大(即越软)则其越大的倾向,相对于稠度具有某种程度的相关关系。因而,例如根据基础油和增稠剂的混合比来调整稠度,由此能够得到希望的分油度的润滑剂G。

[0115] 另外,润滑剂G的稠度优选在280以上且400以下的范围内,更优选在300以上且380以下的范围内,进一步优选在325以上且365以下的范围内。由此,能够易于使润滑剂G留在润滑对象部。另外,还有易于使润滑剂G的分油度在上述范围内的优点。与此相对地,若润滑剂G的稠度过小,则在上述的分油度的范围的基础油和增稠剂的选择困难,另外,有可能润滑剂G的流动性不充分,不易对刚性齿轮2与柔性齿轮3的啮合部充分地供应润滑剂G。另一方面,若润滑剂G的稠度过大,则润滑剂G的流动性变得过高,润滑剂G易于向齿轮装置10的外部(例如壳体5内的非本意的位置或壳体5的外部)泄漏,因此,向刚性齿轮2与柔性齿轮3的啮合部供应润滑剂G变得不稳定,反而有可能易于发生该啮合部处的润滑不良。此外,“稠度”是表示润滑脂的硬度的指标,是按照JIS K2220:2013中规定的测定方法来测定的。

[0116] 另外,优选润滑剂G的滴点在 248°C 以上且 270°C 以下的范围内。由此,能够一面使润滑剂G的稠度最佳化,一面使润滑剂G的耐热性优异。此外,“滴点”是指润滑脂结构被损坏而从半固体变为液状时的温度,是按照JIS K2220:2013中规定的测定方法来测定的。

[0117] 在此,在上述增稠剂中,在润滑剂G中使用的增稠剂优选使用锂复合皂。由此,能够提高润滑剂G的滴点,能够使润滑剂G的耐热性优异。此外,在将锂复合皂用作增稠剂的情况下,既可以将锂复合皂单独作为增稠剂使用,也可以将其它增稠剂和锂复合皂混合后使用。在将其它增稠剂与锂复合皂混合使用的情况下,优选全部增稠剂中的锂复合皂的含量是70质量%以上。

[0118] 另外,润滑剂G除了上述的基础油、增稠剂以及极压剂(有机钼化合物)以外,还可以包含抗氧化剂、防锈剂等添加剂、额外的石墨、二硫化钼、聚四氟乙烯(PTFE)等固体润滑剂等。

[0119] 综上,齿轮装置10如上所述具有:作为内齿齿轮的刚性齿轮2;作为外齿齿轮的柔性齿轮3,其具有柔性,并且局部与刚性齿轮2啮合;以及波动发生器4,其与柔性齿轮3的内周面接触,使刚性齿轮2与柔性齿轮3的啮合位置在周向上移动。此外,柔性齿轮3以镍铬钼钢为主材料,刚性齿轮2以完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁为主材料。

[0120] 根据这样的齿轮装置10,柔性齿轮3的构成材料包括镍铬钼钢,因此,能够提高柔性齿轮3的机械特性(特别是疲劳强度),能够延长柔性齿轮3的寿命。另一方面,刚性齿轮2的构成材料包括完成了淬火和回火处理的球状石墨铸铁或者完成了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁,因此能够对刚性齿轮2赋予耐久性,能够延长刚性齿轮2的寿命。这样,通过延长柔性齿轮3和刚性齿轮2双方的寿命,能够延长齿轮装置10的寿命。另外,能够扩大可输入的扭矩的允许范围,因此,能够实现齿轮装置10的高扭矩化。

[0121] 另外,如上所述,机器人100具备:作为第一构件的基台110;作为第二构件的第一臂120,其相对于基台110进行转动;齿轮装置10,其传递使第一臂120相对于基台110相对地转动的驱动力;以及作为驱动源的电机170,其向齿轮装置10输出驱动力。此外,刚性齿轮2、柔性齿轮3以及波动发生器4中之一连接到基台110(第一构件),另一连接到第一臂120(第二构件)。

[0122] 由此,由于齿轮装置10的长寿命化,所以也能够实现机器人100的长寿命化。另外,能够降低进行齿轮装置10的更换、修理的频率,因此,能够更长地确保机器人100的实质上的运转时间,能够提高机器人100的作业效率。

[0123] <第二实施方式>

[0124] 下面,说明本发明的第二实施方式。

[0125] 图5是表示本发明的第二实施方式涉及的齿轮装置的纵截面图。

[0126] 本实施方式除了外齿齿轮的构成和与之相伴的壳体的构成不同以外,均与上述的第一实施方式相同。此外,在以下的说明中,关于本实施方式,以与上述的实施方式的不同点为中心进行说明,至于相同的事项,则省略其说明。另外,在图5中,对与上述实施方式同样的构成标注同一附图标记。

[0127] 图5所示的齿轮装置10B具有齿轮装置主体1B和收纳齿轮装置主体1B的壳体5B。此外,也可以省略壳体5B。

[0128] 齿轮装置10B具有配置于刚性齿轮2的内侧的作为帽型(带帽檐的帽子型)的外齿齿轮的柔性齿轮3B。该柔性齿轮3B具有连接到筒状的主体部31的一端部并向与轴线a相反的一侧突出的凸缘部32B(连接部)。在凸缘部32B安装有未图示的输出轴。

[0129] 壳体5B具有:大致板状的盖体11B,其通过轴承13支承轴61(例如输入轴);以及交叉滚子轴承18,其安装于上述的柔性齿轮3B的凸缘部32B。

[0130] 在此,盖体11B例如通过螺纹紧固等固定于刚性齿轮2的一个(图5中的右侧)侧面。另外,交叉滚子轴承18具有内轮15、外轮16以及配置于它们之间的多个滚子17。此外,内轮15沿着柔性齿轮3的主体部31的外周设置,例如通过螺纹紧固等固定于刚性齿轮2的另一个(图5中的左侧)侧面。另一方面,外轮16例如通过螺纹紧固等固定于上述的柔性齿轮3B的凸缘部32B的主体部31侧的面。

[0131] 另外,盖体11B的内壁面111B以覆盖柔性齿轮3B的开口部36的方式呈向与轴线a垂直的方向扩展的形状。另外,交叉滚子轴承18的内轮15的内壁面151呈沿着柔性齿轮3B的主体部31的外周面的形状。

[0132] 以上那样的齿轮装置10B具有配置于刚性齿轮2与柔性齿轮3B之间以及柔性齿轮3B与波动发生器4之间中的至少一方(润滑对象部)的润滑剂G。在此,刚性齿轮2、柔性齿轮3B以及波动发生器4中的一构件(在本实施方式中是刚性齿轮2,但也可以是柔性齿轮3B或波动发生器4)连接到基台110(第一构件),另一构件(在本实施方式中是柔性齿轮3B,但也可以是刚性齿轮2或波动发生器4)连接到第一臂120(第二构件)。

[0133] 通过以上说明的第二实施方式,也能够发挥与上述第一实施方式同样的效果。

[0134] 3. 齿轮装置的制造方法

[0135] 以下说明本发明的齿轮装置的制造方法的实施方式。

[0136] 图6是表示本发明的齿轮装置的制造方法的实施方式的工序图。

[0137] 本实施方式涉及的齿轮装置的制造方法包括：构件准备工序，准备以球状石墨铸铁为主材料的内齿齿轮用构件；以及热处理工序，对内齿齿轮用构件实施淬火和回火处理或奥氏体回火处理，得到内齿齿轮。以下说明各工序。

[0138] [1] 构件准备工序S1

[0139] 首先，准备由包含球状石墨铸铁的材料构成的内齿齿轮用构件。内齿齿轮用构件可以用任意的方法制得的构件。另外，内齿齿轮用构件形成为上述的刚性齿轮2的形状。

[0140] 需要指出，优选内齿齿轮用构件所包含的球状石墨铸铁主要由呈粒状的石墨和基质构成，其中，基质包含珠光体组织。珠光体组织是指呈层状的渗碳体组织，以铁碳化物为主成分。另外，层状是指以结晶组织的长径/短径规定的纵横比例如是5以上的状态。由于在基质中包含这样的珠光体组织，所以在对球状石墨铸铁实施了后述的淬火和回火处理或奥氏体回火处理时，能够使铁碳化物高效地分散到基质中。其结果是，能够使热处理后的球状石墨铸铁的机械特性稳定，能够进一步提高刚性齿轮2的耐久性。

[0141] 另外，特别是，在对基质中包含珠光体组织的球状石墨铸铁实施了淬火和回火处理的情况下，能够容易地产生从珠光体组织向索氏体组织的变化。即，能够容易地产生从呈层状的渗碳体组织向粒状的变化。其结果是，能够实现现在基质中包含均质的索氏体组织、韧性和伸长率特别良好的刚性齿轮2。

[0142] 此外，珠光体组织既可以其单独存在，也可以作为与铁素体组织、其以外的组织的混合组织存在。

[0143] [2] 热处理工序S2

[0144] 下面，对内齿齿轮用构件实施淬火和回火处理或奥氏体回火处理。由此，得到刚性齿轮2(内齿齿轮)。

[0145] (淬火和回火处理)

[0146] 在淬火和回火处理中，对球状石墨铸铁依次进行淬火处理和回火处理。

[0147] 其中，作为淬火处理，例如可举出充分地保持为奥氏体化温度以上的温度，之后，放入水或油中急冷使之马氏体相变的处理。

[0148] 淬火处理的加热温度(淬火温度)根据球状石墨铸铁的合金组成而稍微不同，但优选是800℃以上且900℃以下，更优选是850℃以上且900℃以下。

[0149] 另外，淬火温度的保持时间根据淬火温度、被加热物的热容量等适当设定，作为一例，优选是10分钟以上且5小时以下，更优选是30分钟以上且3小时以下。

[0150] 另外，淬火处理时的升温速度根据淬火温度、被加热物的热容量等适当设定，作为一例，优选是30℃/小时以上且200℃/小时以下，更优选是50℃/小时以上且150℃/小时以下。

[0151] 若偏离上述那样的加热条件，则有可能无法充分地生成上述那样的索氏体组织或以其为基准的组织。

[0152] 另一方面，作为回火处理，例如可举出将通过淬火处理生成的马氏体组织优选以可变化为索氏体组织的温度加热后缓冷的处理。

[0153] 回火处理的加热温度(回火温度)虽然根据球状石墨铸铁的合金组成而稍微不同，但优选是200℃以上且700℃以下，更优选是250℃以上且650℃以下。

[0154] 另外，回火温度的保持时间根据回火温度、被加热物的热容量等适当设定，作为一

例,优选是10分钟以上且3小时以下,更优选是30分钟以上且2小时以下。

[0155] 另外,回火处理时的降温速度根据回火温度、被加热物的热容量等而适当设定,作为一例,优选是10℃/小时以上且100℃/小时以下,更优选是20℃/小时以上且80℃/小时以下。

[0156] 若偏离上述那样的加热条件,则有可能无法充分地生成上述那样的索氏体组织或以其为基准的组织。

[0157] (奥氏体回火处理)

[0158] 在此,作为奥氏体回火处理,例如可举出将球状石墨铸铁充分地保持为奥氏体化温度以上的温度,之后,通过熔融盐浴(盐浴)急冷并保持的处理(恒温相变处理)。

[0159] 奥氏体回火处理的加热温度根据球状石墨铸铁的合金组成而稍微不同,但优选是800℃以上且900℃以下,更优选是850℃以上且900℃以下。

[0160] 另外,上述加热温度的保持时间根据加热温度、被加热物的热容量等适当设定,作为一例,优选是10分钟以上且3小时以下,更优选是30分钟以上且1小时以下。

[0161] 另外,奥氏体回火处理时的升温速度根据加热温度、被加热物的热容量等适当设定,作为一例,优选是30℃/小时以上且200℃/小时以下,更优选是50℃/小时以上且150℃/小时以下。

[0162] 若偏离上述那样的加热条件,则有可能无法充分地生成上述那样的贝氏体组织或以其为基准的组织。

[0163] 另一方面,在通过熔融盐浴(盐浴)的急冷和保持中,优选将熔融盐浴的温度设定为例如200℃以上且450℃以下,更优选设定为230℃以上且400℃以下。

[0164] 另外,在上述熔融盐浴中的保持时间虽然没有特别限定,但作为一例,优选是10分钟以上且2小时以下,更优选是30分钟以上且1小时以下。

[0165] 另外,作为在熔融盐浴中使用的熔融盐,例如可举出硝酸盐类熔融盐、氯化物类熔融盐等。

[0166] 若偏离上述那样的加热条件,则有可能无法充分地生成上述那样的贝氏体组织或以其为基准的组织。

[0167] [3]组装工序S3

[0168] 本实施方式涉及的齿轮装置的制造方法还可以具有对制造出的刚性齿轮2、其它部件进行组装的工序。另外,根据需要涂敷润滑剂G等。由此,可得到齿轮装置10。

[0169] 如上所述,本实施方式涉及的齿轮装置的制造方法是上述的齿轮装置10那样的齿轮装置的制造方法,具有:构件准备工序,准备以球状石墨铸铁为主材料的内齿齿轮用构件;以及热处理工序,对内齿齿轮用构件实施淬火和回火处理或奥氏体回火处理,得到作为内齿齿轮的刚性齿轮2。

[0170] 根据这样的制造方法,能够对刚性齿轮2赋予优异的韧性、伸长率,能够高效地制造耐久性高的刚性齿轮2。其结果是,能够高效地制造寿命长的齿轮装置10。

[0171] 以上,基于图示的实施方式说明了本发明的机器人、齿轮装置以及齿轮装置的制造方法,但本发明不限于此,各部的构成能够置换为具有同样功能的任意的构成。另外,也可以对本发明附加其它任意的构成物。

[0172] 另外,在上述实施方式中,说明了机器人所具备的基台是“第一构件”、第一臂是

“第二构件”并从第一构件向第二构件传递驱动力的齿轮装置,但本发明不限于此,还能够应用于第n(n是1以上的整数)臂是“第一构件”、第(n+1)臂是“第二构件”并从第n臂和第(n+1)臂中的一方向另一方传递驱动力的齿轮装置。另外,还能够应用于从第二构件向第一构件传递驱动力的齿轮装置。

[0173] 另外,在上述的实施方式中,说明了水平多关节机器人,但本发明的机器人不限于此,例如机器人的关节数是任意的,另外,还能够应用于垂直多关节机器人。

[0174] 另外,在上述的实施方式中,以将齿轮装置组入机器人中的情况为例进行了说明,但本发明的齿轮装置能够组入各种设备中进行使用,该各种设备具有从相互转动的第一构件和第二构件中的一侧向另一侧传递驱动力的构成。

[0175] [实施例]

[0176] 以下说明本发明的具体的实施例。

[0177] 1. 齿轮装置(减速器)的制造

[0178] (实施例1)

[0179] 制造了如图2所示的构成的齿轮装置。

[0180] 在此,制造出的齿轮装置的内齿齿轮的外径 Φ 为70mm,内齿齿轮的内径和外齿齿轮的外径(啮合基准圆直径) Φ 为53mm,减速比为80。另外,作为内齿齿轮的构成材料,使用实施了淬火和回火处理的球状石墨铸铁,作为外齿齿轮的构成材料,使用了镍铬钼钢(SNCM439)。

[0181] 需要指出,在表1中示出:外齿齿轮和内齿齿轮的维氏硬度、外齿齿轮的残余应力、外齿齿轮和内齿齿轮的表面粗糙度Ra、外齿齿轮的构成材料和内齿齿轮的构成材料的平均结晶粒径、以及外齿齿轮的构成材料中包含的添加元素的种类和添加量。

[0182] 另外,球状石墨铸铁使用了在热处理前的基质中包含珠光体组织的球状石墨铸铁。

[0183] 另外,在齿轮装置中使用了润滑剂。该润滑剂包含基础油(矿物油):80质量%;作为增稠剂的锂(Li)复合皂:15质量%;作为极压剂的有机钼化合物(有机Mo):4质量%;2,6-二叔丁基-4-甲酚:1质量%,使用了稠度为325、分油度为4质量%、滴点为270℃的润滑脂。

[0184] 另外,淬火和回火处理的处理条件如下。

[0185] • 淬火温度:850℃

[0186] • 淬火温度的保持时间:1小时

[0187] • 淬火处理的升温速度:100℃/小时

[0188] • 冷却方法:油冷

[0189] • 回火温度:550℃

[0190] • 回火温度的保持时间:1小时

[0191] • 回火处理的降温速度:进行30℃/小时的缓冷直至300℃

[0192] 进行通过空气冷却的急冷直至室温

[0193] (实施例2~25、参考例1、2以及比较例1~3)

[0194] 除了如表1所示变更了外齿齿轮和内齿齿轮的构成以外,与上述实施例1同样地制造了齿轮装置。

[0195] 表1

[0196]

	齿轮装置的构成											评价结果
	柔性齿轮（外齿齿轮）						刚性齿轮（内齿齿轮）					
	维氏硬度	残余应力	表面粗糙度Ra	平均结晶粒径	构成材料	添加元素		维氏硬度	表面粗糙度Ra	平均结晶粒径	构成材料	寿命
						种类	添加量					
	—	MPa	μm	μm	—	—	质量%	—	μm	μm	—	旋转
实施例1	400	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	QT-FCD	3×10 ⁷
实施例2	400	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	350	0.2	30	QT-FCD	3×10 ⁷
实施例3	450	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	450	0.2	30	QT-FCD	5×10 ⁷
实施例4	450	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	QT-FCD	5×10 ⁷
实施例5	450	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	300	0.2	30	QT-FCD	4×10 ⁷
实施例6	520	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	QT-FCD	9×10 ⁷
实施例7	480	-450	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	QT-FCD	1×10 ⁷
实施例8	480	-550	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	QT-FCD	2×10 ⁷
实施例9	480	-950	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	QT-FCD	8×10 ⁷
实施例10	480	-750	0.2	15	SNCM439	—	—	400	0.1	30	QT-FCD	4×10 ⁷
实施例11	480	-750	0.2	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	QT-FCD	5×10 ⁷
实施例12	480	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.4	30	QT-FCD	6×10 ⁷
实施例13	480	-750	0.8	15	SNCM439	—	—	400	0.4	30	QT-FCD	4×10 ⁷
实施例14	480	-750	1.6	15	SNCM439	—	—	400	0.8	30	QT-FCD	3×10 ⁷
实施例15	480	-750	0.4	0.5	SNCM439	—	—	400	0.2	5	QT-FCD	9×10 ⁷
实施例16	480	-750	0.4	10	SNCM439	—	—	400	0.2	10	QT-FCD	7×10 ⁷
实施例17	480	-750	0.4	30	SNCM439	—	—	400	0.2	40	QT-FCD	1×10 ⁷
实施例18	480	-750	0.4	15	SNCM439	Nb	0.01	400	0.2	30	QT-FCD	7×10 ⁷
实施例19	480	-750	0.4	15	SNCM439	Nb	0.1	400	0.2	30	QT-FCD	1×10 ⁸
实施例20	480	-750	0.4	15	SNCM439	Nb	0.5	400	0.2	30	QT-FCD	8×10 ⁷
实施例21	480	-750	0.4	15	SNCM439	Ti	0.1	400	0.2	30	QT-FCD	8×10 ⁷
实施例22	480	-750	0.4	15	SNCM439	V	0.1	400	0.2	30	QT-FCD	9×10 ⁷
实施例23	480	-750	0.4	15	SNCM439	Zr	0.1	400	0.2	30	QT-FCD	1×10 ⁸
实施例24	480	-750	0.4	15	SNCM439	Ta	0.1	400	0.2	30	QT-FCD	6×10 ⁷
实施例25	480	-750	0.4	15	SNCM439	Hf	0.1	400	0.2	30	QT-FCD	7×10 ⁷
参考例1	400	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	450	0.2	30	QT-FCD	6×10 ⁴
参考例2	480	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.8	30	QT-FCD	7×10 ⁴
比较例1	450	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	FCD	8×10 ³
比较例2	—	—	—	—	结构用钢	—	—	—	—	—	Al合金	3×10 ³
比较例3	—	—	—	—	SUS	—	—	—	—	—	Cu合金	1×10 ³

[0197] 此外,表1所示的构成材料如下。

[0198] • SNCM439: 镍铬钼钢SNCM439

[0199] • 结构用钢: 机械结构用碳钢S45C

[0200] • SUS: 不锈钢SUS420J2

[0201] • QT-FCD: 实施了淬火和回火处理的球状石墨铸铁

[0202] • FCD: 未实施热处理的球状石墨铸铁

[0203] • Al合金: 铝-硅系合金A4032

[0204] • Cu合金: 铝青铜C6241

[0205] (实施例26~28和参考例3、4)

[0206] 除了如表2所示变更了外齿齿轮和内齿齿轮的构成以外,与上述实施例1同样地制造了齿轮装置。

[0207] 此外,奥氏体回火处理的处理条件如下。

[0208] • 加热温度: 850℃

[0209] • 加热温度的保持时间: 1小时

[0210] • 熔融盐浴的种类: 硝酸盐类熔融盐

[0211] • 熔融盐浴的温度: 300℃

[0212] • 熔融盐浴的保持时间: 1小时

[0213] 表2

[0214]

	齿轮装置的构成										评价结果	
	柔性齿轮（外齿齿轮）					刚性齿轮（内齿齿轮）						
	维氏硬度	残余应力	表面粗糙度Ra	平均结晶粒径	构成材料	添加元素		维氏硬度	表面粗糙度Ra	平均结晶粒径	构成材料	寿命
						种类	添加量					
	—	MPa	μm	μm	—	—	质量%	—	μm	μm	—	旋转
实施例26	450	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	ADI-FCD	5×10^6
实施例27	520	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.2	30	ADI-FCD	9×10^6
实施例28	480	-750	0.4	15	SNCM439	Nb	0.1	400	0.2	30	ADI-FCD	1×10^7
参考例3	400	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	450	0.2	30	ADI-FCD	4×10^4
参考例4	480	-750	0.4	15	SNCM439	—	—	400	0.8	30	ADI-FCD	5×10^4

[0215] 此外,表2所示的构成材料如下。

[0216] • SNCM439:镍铬钼钢SNCM439

[0217] • ADI-FCD:实施了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁

[0218] 2.评价

[0219] 2.1寿命的评价

[0220] 关于上述的1.中得到的各齿轮装置,按照输入轴旋转数(输入轴旋转速度):3000rpm、平均负载扭矩70Nm进行连续运转,测定了直至齿轮装置破损为止的输入轴的总旋转数。另外,将其结果作为寿命在表1和表2中一并示出。

[0221] 由表1和表2明显可知,各实施例与各参考例和各比较例相比,寿命格外延长。

[0222] 2.2结晶组织的评价

[0223] 将在上述的1.中得到的各刚性齿轮(内齿齿轮)的一部分截断,实施了用于观察截断面的研磨处理和蚀刻处理。

[0224] 接着,用扫描型电子显微镜观察了研磨面。于是,作为代表,将实施例4的刚性齿轮的研磨面的观察像在图7中示出。另外,作为代表,将实施例26的刚性齿轮的研磨面的观察像在图8中示出。进一步地,作为代表,将比较例1的刚性齿轮的研磨面的观察像在图9中示出。

[0225] 在图7~图9中,均观察到呈粒状的石墨和作为其以外的区域的基质(matrix)。

[0226] 另外,作为观察的结果,在实施例1~25的刚性齿轮的研磨面中如图7所示确认了在基质部分存在实施了淬火和回火处理的球状石墨铸铁所特有的索氏体组织。

[0227] 另一方面,在实施例26~28的刚性齿轮的研磨面中如图8所示确认了在基质部分存在实施了奥氏体回火处理的球状石墨铸铁所特有的贝氏体组织。

[0228] 另外,在比较例1的刚性齿轮的研磨面中如图9所示确认了在基质部分存在源自于未实施热处理的球状石墨铸铁的珠光体组织。

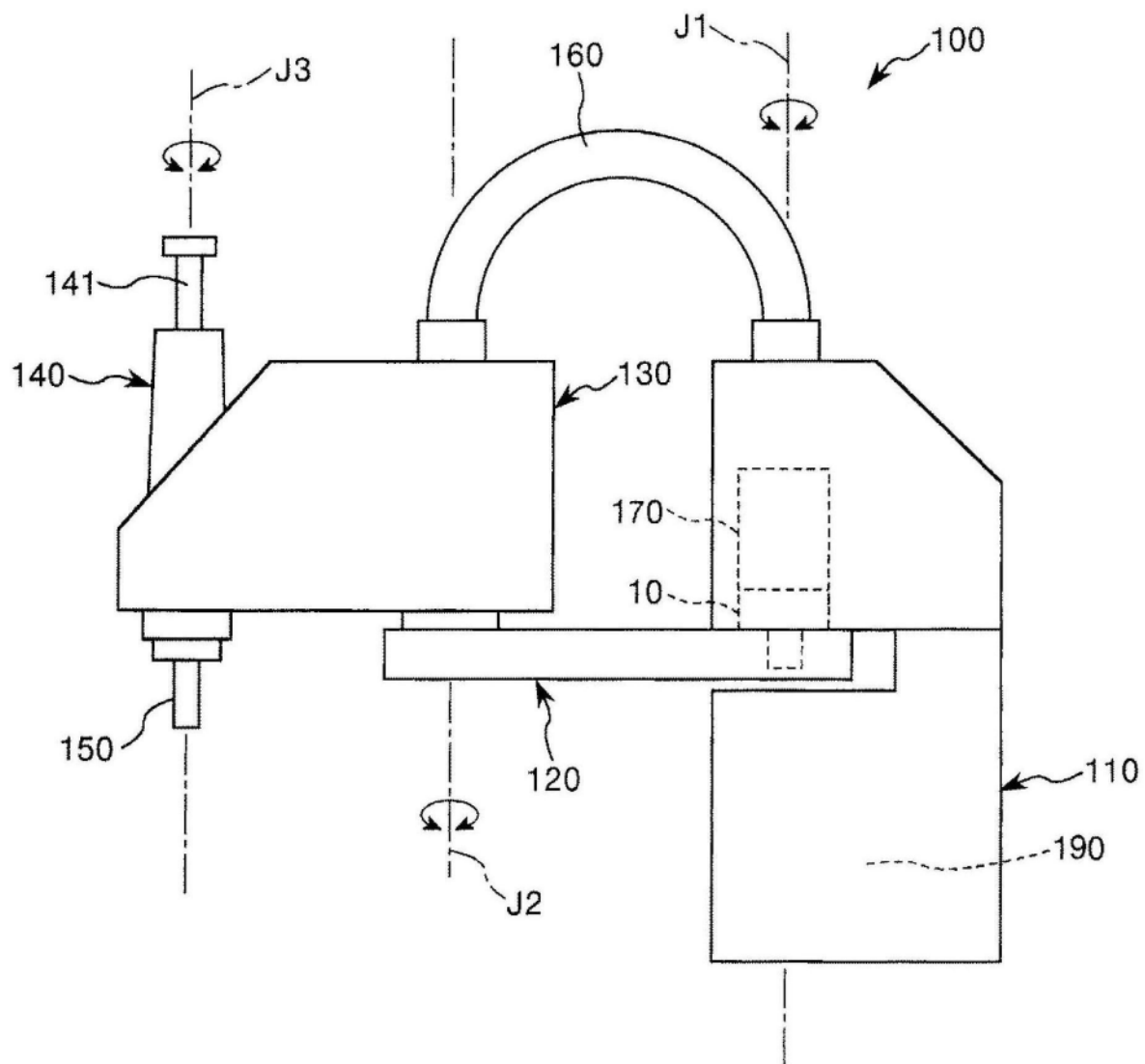


图1

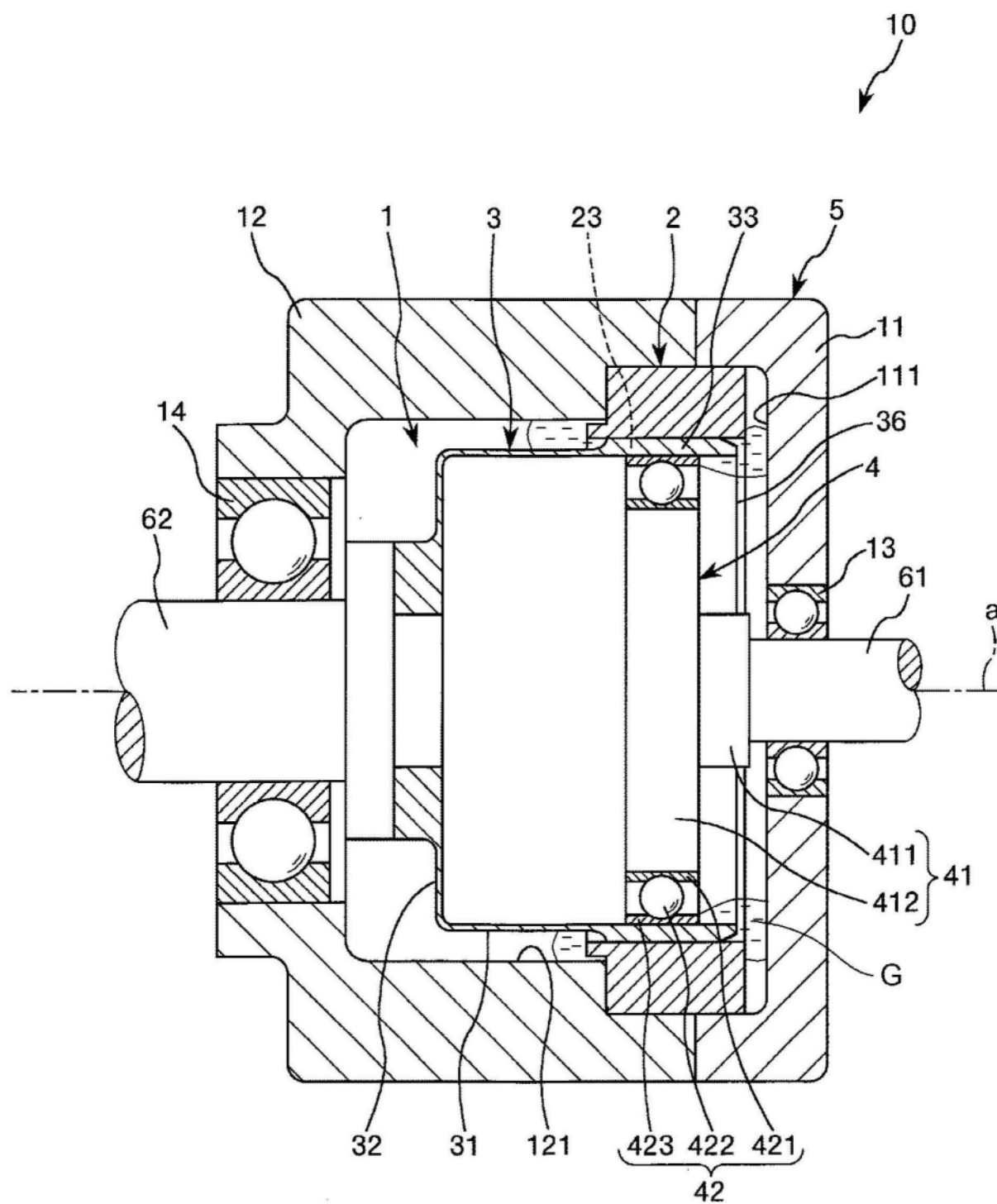


图2

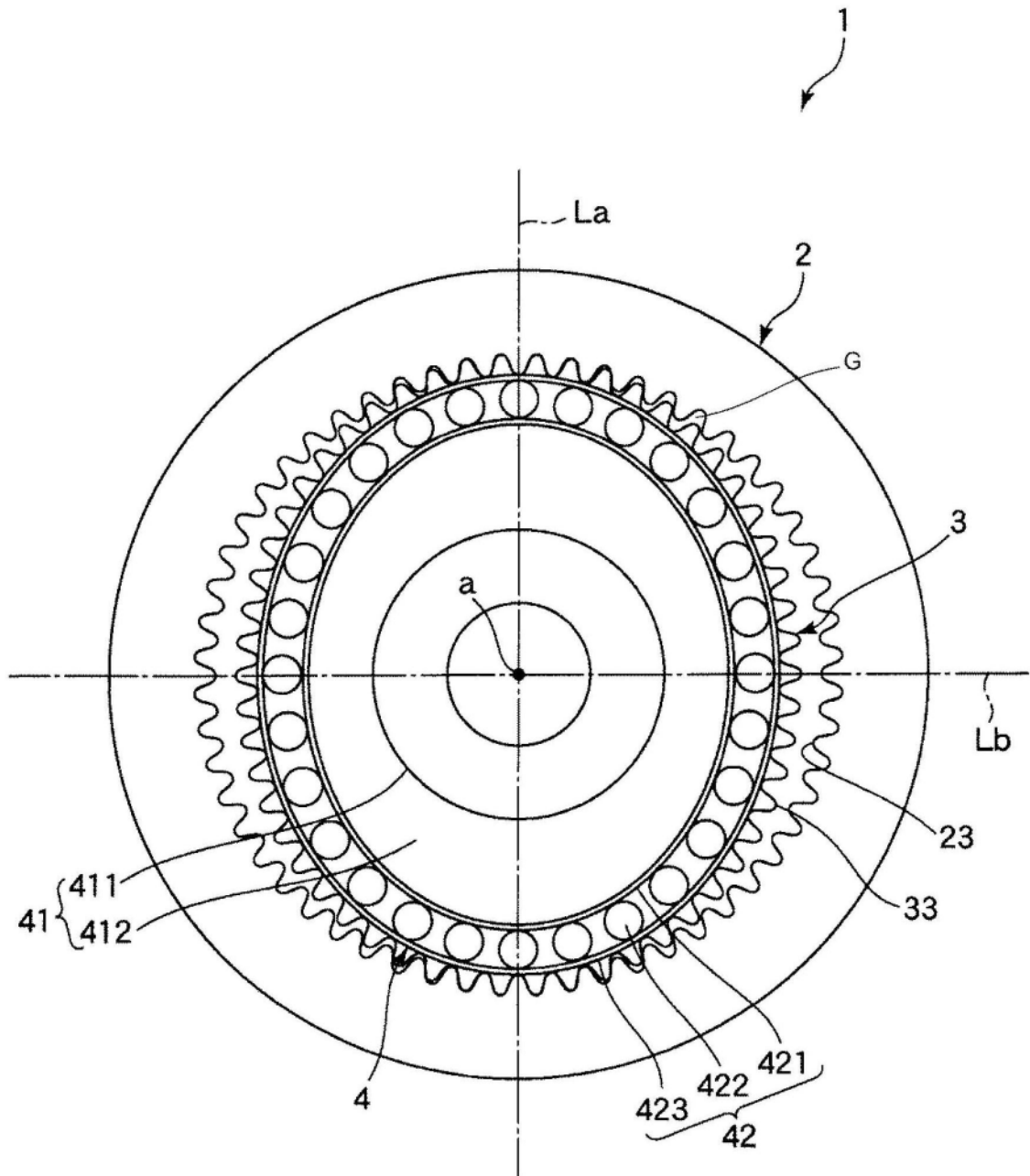


图3

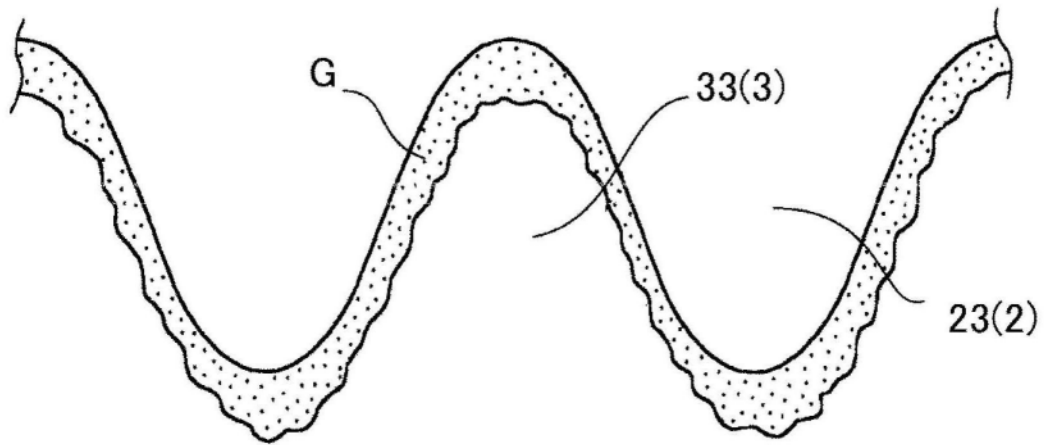


图4

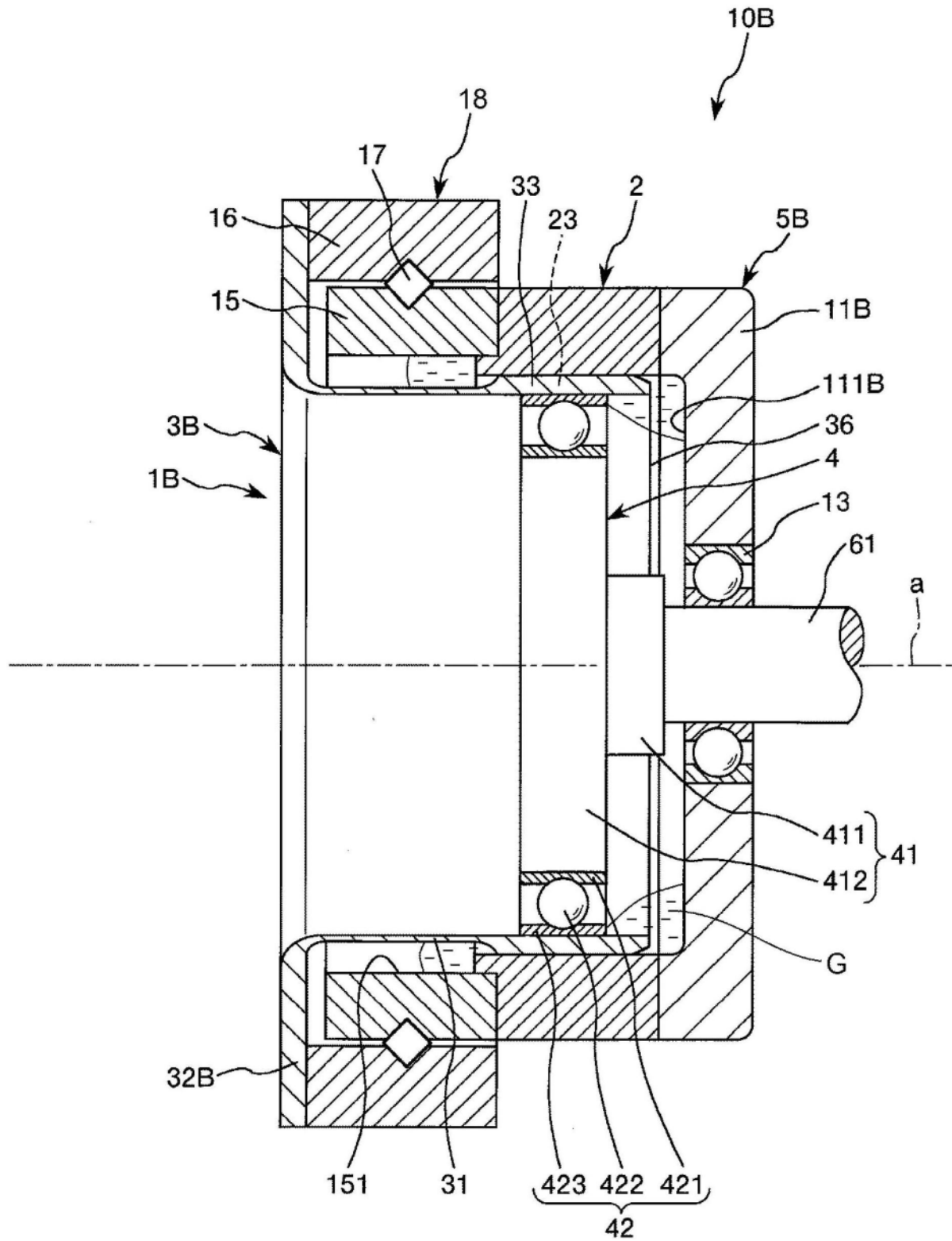


图5

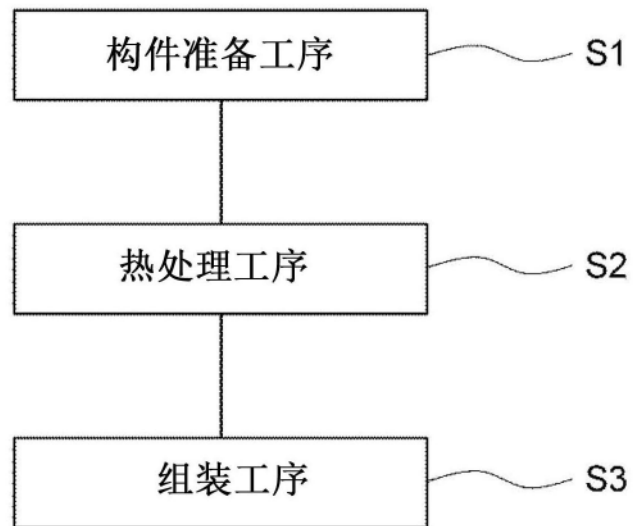


图6

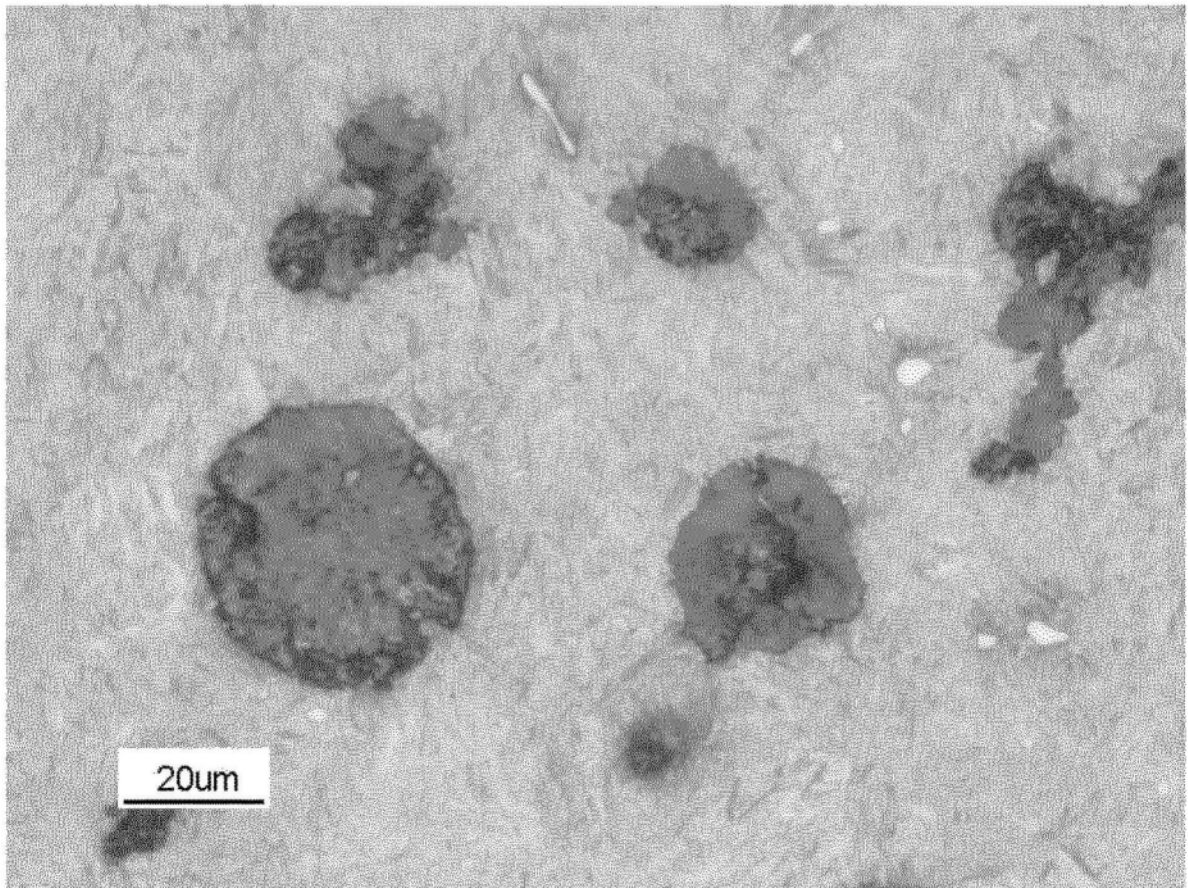


图7

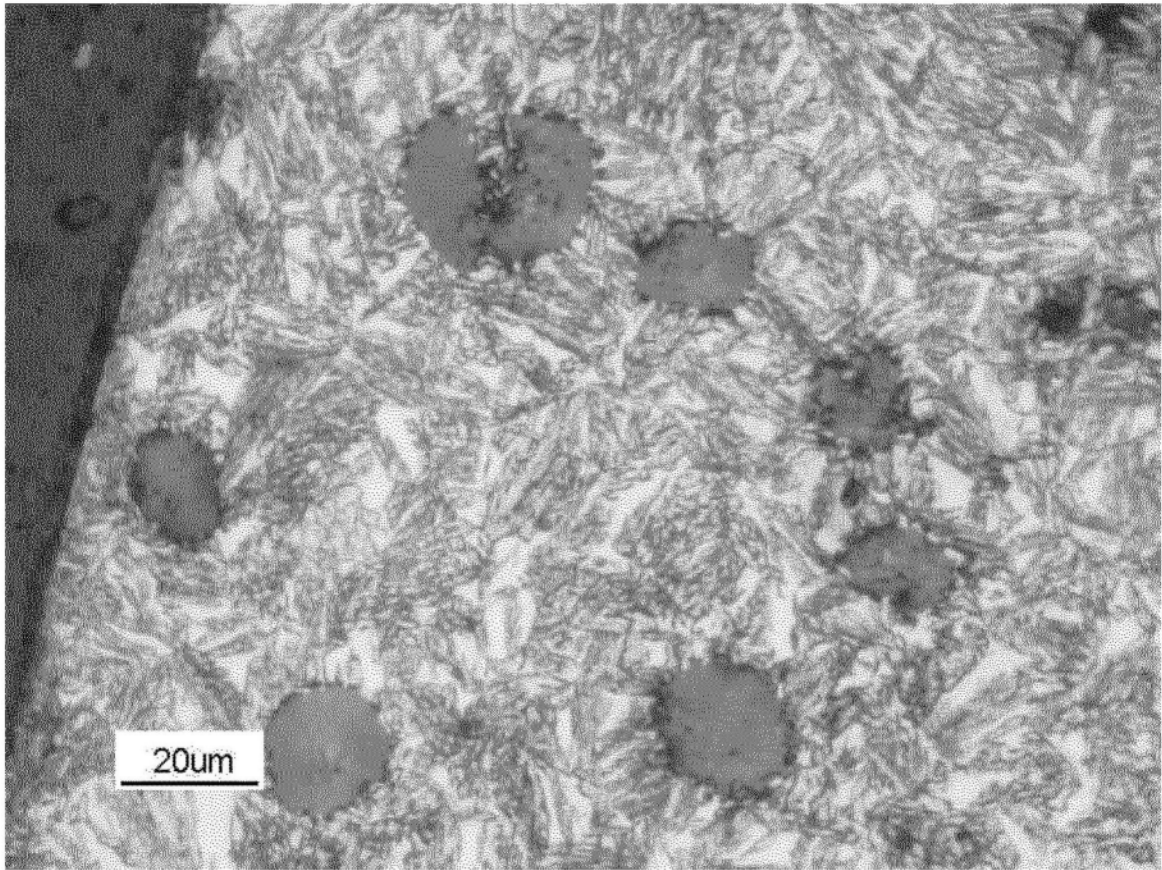


图8

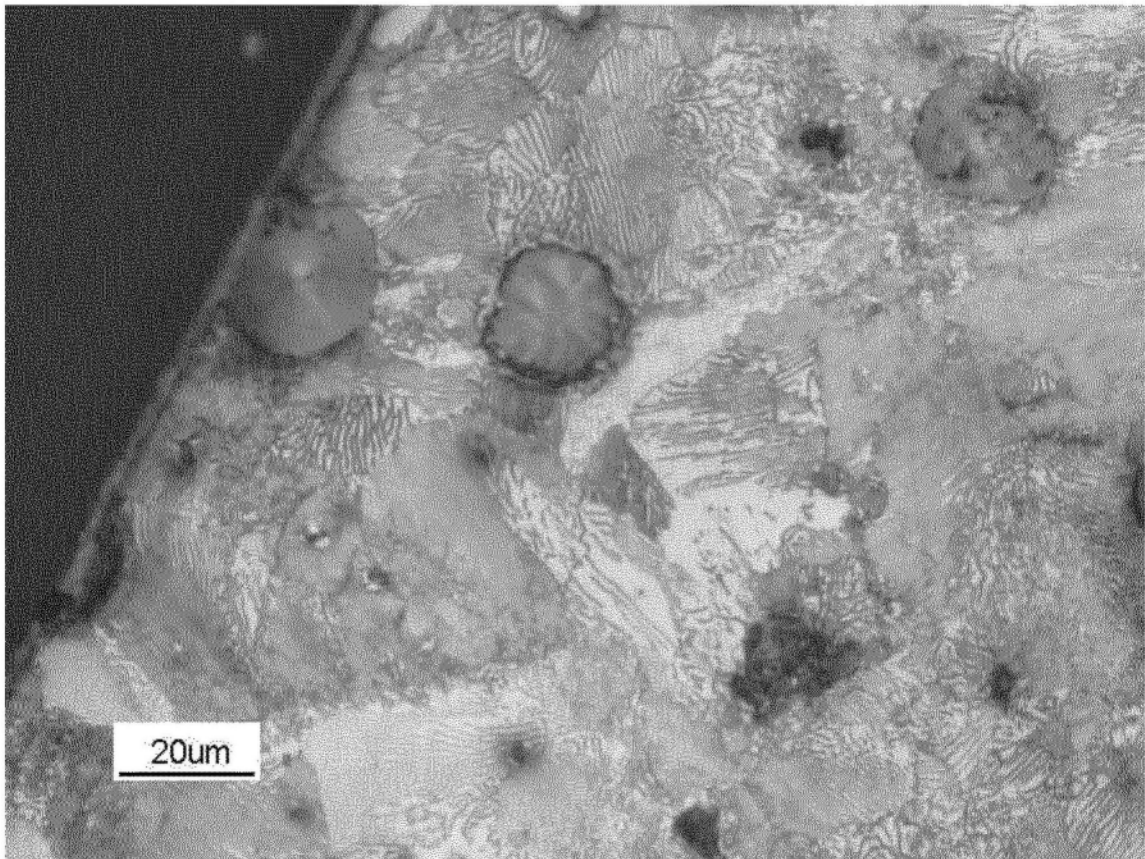


图9