



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113646126 B

(45) 授权公告日 2023.10.20

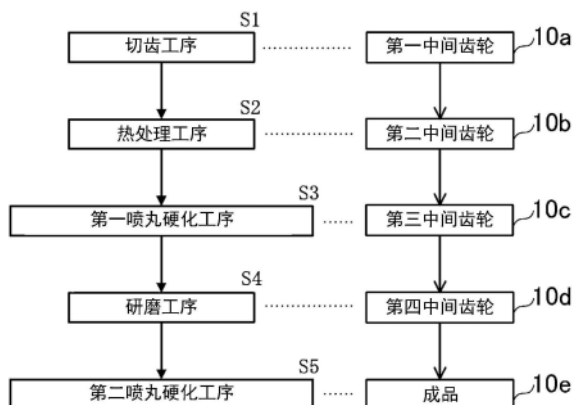
(21) 申请号 202080025392.0  
 (22) 申请日 2020.03.16  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 113646126 A  
 (43) 申请公布日 2021.11.12  
 (30) 优先权数据  
 2019-071818 2019.04.04 JP  
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日  
 2021.09.28  
 (86) PCT国际申请的申请数据  
 PCT/JP2020/011428 2020.03.16  
 (87) PCT国际申请的公布数据  
 W02020/203219 JA 2020.10.08  
 (73) 专利权人 马自达汽车株式会社  
 地址 日本广岛县  
 (72) 发明人 野口慈仁 高津凌 上田伊佐矛  
 坂东武夫 冈伸之  
 (74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
 72002  
 专利代理师 朴勇

(51) Int.Cl.  
 B23P 15/14 (2006.01)  
 B24C 1/10 (2006.01)  
 B24C 11/00 (2006.01)  
 B23F 19/00 (2006.01)  
 B23F 19/02 (2006.01)  
 B24B 37/00 (2012.01)  
 (56) 对比文件  
 JP 2005320604 A, 2005.11.17  
 WO 2016052161 A1, 2016.04.07  
 JP 2000280120 A, 2000.10.10  
 CN 102483093 A, 2012.05.30  
 CN 105436840 A, 2016.03.30  
 CN 1253055 A, 2000.05.17  
 CN 107166011 A, 2017.09.15  
 JP 2000002315 A, 2000.01.07  
 JP 2006175545 A, 2006.07.06  
 JP 2013220509 A, 2013.10.28  
 审查员 顾铖

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称  
 双曲面齿轮的制造方法

(57) 摘要  
 双曲面齿轮(10)的制造方法包括:加工双曲面齿轮的齿形的切齿工序(S1);成型出在齿表面上形成有硬化层的第三中间齿轮(10c)的表面处理工序;通过使用直径为14 μm以下的磨粒加工第三中间齿轮来成型出第四中间齿轮(10d)的研磨工序(S4);以及将直径为160 μm以下的颗粒喷射到第四中间齿轮的喷丸硬化工序(S5)。



1. 一种双曲面齿轮的制造方法,其特征在于,包括:  
加工双曲面齿轮的齿的形状的切齿工序;  
成型出在上述齿的表面上形成有硬化层的第一中间体的表面处理工序;  
通过使用直径为 $14\mu\text{m}$ 以下的磨粒加工上述第一中间体来成型出第二中间体的研磨工序;以及  
将直径为 $160\mu\text{m}$ 以下的颗粒喷射到上述第二中间体上的喷丸硬化工序,  
在上述研磨工序中将磨粒的直径设为 $R(\mu\text{m})$ ,将驱动小齿轮的转速设为 $N(\text{rpm})$ 时,满足以下关系式:  
$$33000 \leq R \times N \leq 50000$$
2. 根据权利要求1所述的双曲面齿轮的制造方法,其特征在于,  
上述表面处理工序包括热处理工序及喷射预定粒径的颗粒的喷丸硬化工序中的至少一个工序。
3. 根据权利要求1所述的双曲面齿轮的制造方法,其特征在于,  
将磨粒的直径设为 $14\mu\text{m}$ ,将驱动小齿轮的转速设为 $2400\text{rpm}$ 。
4. 根据权利要求1~3中任一项所述的双曲面齿轮的制造方法,其特征在于,  
对上述第二中间体进行的喷丸硬化工序后的双曲面齿轮的表面粗糙度为 $0.8\mu\text{m}$ 以下。
5. 根据权利要求1~3中任一项所述的双曲面齿轮的制造方法,其特征在于,  
上述双曲面齿轮为差动装置的小齿轮或者环形齿轮。

## 双曲面齿轮的制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及双曲面齿轮的制造方法。

### 背景技术

[0002] 以往,双曲面齿轮具有耐久性高且齿接触音低的优点。因此,双曲面齿轮作为进行传递动力的车辆用差动装置的主要构成部件被广泛实际应用。

[0003] 在上述双曲面齿轮中,由于在旋转驱动过程中多个齿同时啮合,所以输入到每个齿的载荷能够分散到多个齿上。相反,由于小齿轮与环形齿轮(Ring gear)之间的接触部分(齿接触位置)相对滑动,因此随着滑动阻力的增加而能量损失增加,具有降低作为传递动力机构的机械效率的特性。

[0004] 因此,在双曲面齿轮中,在齿轮表面形成润滑用涂层。

[0005] 如图6所示,双曲面齿轮通过切齿工序S11、热处理工序S12及喷丸硬化工序S13、研磨工序S14、磷化(lubrite)处理工序S15制成。切齿工序S11加工双曲面齿轮的齿形状。热处理工序S12及喷丸硬化工序S13在齿表面形成硬化层。研磨工序S14使用#320(粒径40 $\mu$ m)的磨粒进行加工。磷化处理工序S15在齿表面形成润滑用涂层。

[0006] 在磷化处理工序S15中,将对象工件浸渍到磷酸盐溶液中,在表面形成磷酸盐膜,使上述磷酸盐膜与润滑剂(lube)(脂肪酸苏打皂)反应,生成具有润滑性的金属皂。

[0007] 并且,也提出了进一步提高疲劳强度的技术。

[0008] 在专利文献1的齿轮的制造方法中,在进行切齿工序、用于形成硬化层的表面处理工序及研磨工序后,进行喷丸硬化工序及陀螺抛光处理工序来代替磷化处理工序。通过喷丸硬化提高弯曲疲劳强度,通过陀螺抛光处理提高表面压力强度。

[0009] 现有技术文献

[0010] 专利文献

[0011] 专利文献1:日本特开2000-280120号公报

### 发明内容

[0012] 所要解决的技术问题

[0013] 通常,作为抛光加工法中的一种的研磨加工被划分为粗抛光,在需要表面粗加工的情况下或作为精抛光的前工序而被实施。研磨加工为一种游离磨粒方式的磨粒加工法,在恒定压力下将由磨粒和加工液组成的研磨剂(混合浆)介入到其间使硬质工具与工件相对移动。通过磨粒对工件的表面进行微切割,将工具形状转印至工件表面。

[0014] 因此,在研磨加工后,在双曲面齿轮的齿肌方向上形成随着磨粒挤压而产生的条纹状的加工痕迹,使双曲面齿轮的齿面粗糙度变差。

[0015] 并且,由于在齿肌方向上连续形成条纹状的加工痕迹,因此当双曲面齿轮被旋转驱动时,润滑油沿着加工痕迹向外部排出,结果,有可能在齿面发生油膜破裂,无法发挥充分的动力传递效率。

[0016] 为了去除研磨加工引起的加工痕迹,在研磨加工后,还可以想到设置阶段性地减小粒径的多阶段的喷丸硬化工序的多个工序。

[0017] 但是,在将粒径不同的喷丸硬化工序设置为多个工序的情况下,随着生产工序增加而使制造设备大型化,同时与生产相关的周期时间变得 longer。将喷丸硬化工序设置为多个工序作为双曲面齿轮的量产是不现实的。

[0018] 即,尚未确立兼顾生产率和动力传递效率的双曲面齿轮的制造方法。

[0019] 这里公开的技术提供能够兼顾生产率和动力传递效率的双曲面齿轮的制造方法等。

[0020] 用于解决技术问题的技术方案

[0021] 这里公开的技术涉及双曲面齿轮的制造方法,上述制造方法包括:包括:

[0022] 加工双曲面齿轮的齿的形状的切齿工序;

[0023] 成型出在上述齿的表面上形成有硬化层的第一中间体的表面处理工序;

[0024] 通过使用直径为 $14\mu\text{m}$ 以下的磨粒加工上述第一中间体来成型出第二中间体的研磨工序;以及

[0025] 将直径为 $160\mu\text{m}$ 以下的颗粒喷射到上述第二中间体上的喷丸硬化工序。

[0026] 该双曲面齿轮的制造方法具有能够使用直径为 $14\mu\text{m}$ 以下的磨粒进行精抛光的研磨工序。因此,能够去除在表面处理工序中产生的齿形畸变,并且改善双曲面齿轮的齿面粗糙度。

[0027] 该双曲面齿轮的制造方法在研磨工序后具有喷丸硬化工序。因此,能够提高齿面强度,并且在齿面上形成能够将润滑油保持在齿面上的凹坑。

[0028] 并且,喷丸硬化工序为向使用直径为 $14\mu\text{m}$ 以下的磨粒进行了研磨加工的第二中间体喷射直径为 $160\mu\text{m}$ 以下的颗粒的工序。因此,能够通过单一的喷丸硬化工序去除在研磨工序中产生的条纹状加工痕迹,能够避免齿面上的油膜破裂。

[0029] 上述表面处理工序也可以热处理工序及喷射预定粒径的颗粒的喷丸硬化工序中的至少一个工序。

[0030] 根据该构成,能够容易地硬化双曲面齿轮的齿面。

[0031] 也可以是,在上述研磨工序中将磨粒的直径设为 $R(\mu\text{m})$ ,将驱动小齿轮的转速设为 $N(\text{rpm})$ 时,满足以下关系式:

[0032]  $33000 \leq R \times N \leq 50000$ 。

[0033] 根据该构成,无论磨粒的大小如何,都能够使研磨工序的处理时间大致相同。

[0034] 也可以将磨粒的直径设为 $14\mu\text{m}$ ,将驱动小齿轮的转速设为 $2400\text{rpm}$ 。

[0035] 根据该构成,能够去除条纹状加工痕迹,并且确保研磨工序中所使用的研磨板的可控性。

[0036] 也可以是,上述喷丸硬化工序后的双曲面齿轮的表面粗糙度为 $0.8\mu\text{m}$ 以下。

[0037] 根据该构成,能够大幅降低动力传递损失。

[0038] 也可以是,上述双曲面齿轮为差动装置的小齿轮或者环形齿轮。

[0039] 根据该构成,能够降低车辆的动力传递损失,能够改善油耗。

[0040] 发明效果

[0041] 根据上述双曲面齿轮的制造方法,通过在执行精抛光的研磨工序后执行能够去除

条纹状的加工痕迹的喷丸硬化工序,能够兼顾生产率和动力传递效率。

### 附图说明

- [0042] 图1为实施例1的搭载了具有双曲面齿轮的后差速器(RDU)的动力装置单元的立体图。
- [0043] 图2为后差速器的剖视说明图。
- [0044] 图3为双曲面齿轮的制造方法的流程图。
- [0045] 图4为第一验证结果的表。
- [0046] 图5为第二验证结果的图表。
- [0047] 图6为现有的双曲面齿轮的制造方法的流程图。

### 具体实施方式

[0048] 以下,参照附图描述用于实施本发明的方式。以下的优选实施方式的描述仅是基本示例性的,并不旨在限制本发明、其应用或其用途。

[0049] 以下,基于图1~图5描述本发明的实施例1。

[0050] 如图1所示,根据本实施例1的双曲面齿轮(Hypoid gear)10为例如安装在四轮驱动车辆的动力装置单元1上的差动装置,具体地是前差速器(Front Differential Unit, FDU)2和后差速器(Rear Differential Unit, RDU)3的主要构成部件。动力装置单元1通过变速器5对从发动机4输出的驱动力进行变速,并通过前差速器2及后差速器3将变速后的驱动力传递到前后驱动轴6、7。

[0051] 如图2所示,后差速器3包括小齿轮11和环形齿轮12。

[0052] 小齿轮11安装在将从变速器5输出的驱动力传递到下游侧的后侧驱动轴8的前端(后端)。环形齿轮12安装在后差速器3的外壳3a的内侧。小齿轮11和环形齿轮12以各自的旋转中心轴处于扭曲位置关系即不相互交叉且非平行的状态啮合。即,双曲面齿轮10由小齿轮11与环形齿轮12啮合而成的齿轮对构成。与后差速器3一样,前差速器2包括构成双曲面齿轮的小齿轮和环形齿轮(均未图示)。

[0053] 接着,基于图3,描述双曲面齿轮10(11、12)的制造工序。

[0054] 并且, Si ( $i=1, 2, \dots$ ) 为示出每个工序的步骤。并且,第一~第五中间齿轮10a~10e表示小齿轮11的中间体与环形齿轮12的中间体的齿轮对。

[0055] 如图3所示,双曲面齿轮10通过切齿工序S1、热处理工序S2、第一喷丸硬化工序S3、研磨工序S4及第二喷丸硬化工序S5(喷丸硬化工序)而完成。其中,热处理工序S2和第一喷丸硬化工序S3相当于在双曲面齿轮10的齿的表面形成硬化层的表面处理工序。

[0056] 切齿工序S1在齿轮材料中形成成品中的齿的尺寸形状。

[0057] 齿轮材料为淬火用合金钢(机械结构用碳钢),例如,为球墨铸铁(FCD45)。齿通过滚齿盘滚齿切割或通过使用了小齿轮刀具等的切齿来进行切削加工,从齿轮材料形成第一中间齿轮10a。

[0058] 在切齿工序S1中,将齿轮材料随着滚齿的旋转以恒定比例旋转,同时将滚齿沿着齿轮轴方向送出,从而进行创制齿轮切割。在双曲面齿轮10中,齿肌为扭曲的曲线。双曲面齿轮10通过使用环形刀具的创制齿轮切割、或者使用圆锥滚齿的创制齿轮切割来进行切齿

加工。

[0059] 热处理工序S2进行渗碳淬火。

[0060] 在热处理工序S2中,第一中间齿轮10a被加热至例如900~950℃的温度范围并保持1.5~4小时以进行渗碳及扩散处理。然后,在将温度降至850℃以在预定时间保持温度后,通过在200~250℃的盐浴中浸渍预定时间并进行淬火而形成第二中间齿轮11b。并且,在上述淬火后,在以130~170℃的温度范围保持1~2小时后,通过空冷回火来,还能够进一步提高第二中间齿轮10b的压缩残余应力。

[0061] 在第一喷丸硬化工序S3中,进行以对齿面施加压缩残余应力为主要目的的喷丸硬化。在第二中间齿轮10b的外周位置配置喷丸硬化装置(未图示)。在第一喷丸硬化工序S3中,在使第二中间齿轮10b绕轴线旋转的同时朝向齿及齿底投射钢球颗粒,形成第三中间齿轮10c(第一中间体)。

[0062] 投射条件设置如下:例如,颗粒的平均直径为0.1~1.0mm,颗粒的硬度为600~800HV,投射速度为50~100m/Sec。这是因为在颗粒的平均直径小于0.1mm的情况下,几乎不施加压缩残余应力,在超过1.0mm的情况下,齿面粗糙度变大。并且,投射速度可以为50~60m/Sec的常规投射和50~100m/Sec的硬投射(Hard shot)的两阶段喷丸硬化。

[0063] 研磨工序S4使用研磨板(未图示)进行研磨加工。

[0064] 在该研磨工序S4中,使用平均直径为14μm以下的细磨粒来去除渗碳淬火后的第三中间齿轮10c的淬火畸变,并且执行用于使第三中间齿轮10c的小齿轮与环形齿轮之间的啮合平滑的精抛光加工,形成第四中间齿轮10d(第二中间体)。在使用平均直径超过14μm的磨粒的情况下,在第二喷丸硬化工序S5中难以去除条纹状的加工痕迹,因此,在后续工序中需要单独的精抛光加工。

[0065] 研磨板例如具备:用于旋转自如地保持第三中间齿轮10c的小齿轮(驱动小齿轮)的小齿轮保持机构;以旋转轴与第三中间齿轮10c的小齿轮的旋转轴交叉的方式配置且旋转自如地保持环形齿轮的环形齿轮保持机构;能够在底座上向前后、上下、左右方向移动环形齿轮保持机构的环形齿轮移动机构;能够在底座上围绕摆动中心将小齿轮保持机构向水平方向摆动的小齿轮移动机构;向第三中间齿轮10c的啮合齿面供给由磨粒及加工液构成的研磨剂的供给机构;以及控制机构(均未图示)。由于研磨板的构成是已知的,因此省略详细的描述。

[0066] 制御机构基于小齿轮的转速(rpm)、传递扭矩、摆幅、周期数、周期时间等加工条件来实施研磨加工。1周期为通过研磨板的动作,第三中间齿轮10c的齿接触在整个齿宽上沿齿肌方向进行往返移动(Oscillation)而返回至原位的移动行程。周期时间是执行所设定的周期数而所需的时间。

[0067] 与磨粒的大小无关,研磨工序S5所需的处理时间大致相同,因此当磨粒直径为R(μm),小齿轮的转速为N(rpm)时,如下关系成立。

[0068]  $33000 \leq R \times N \leq 50000 \cdots \cdots (1)$

[0069] 这是因为,在小于33000的情况下,无法确保量产性,在超过50000的情况下,无法确保加工精度。在本实施例中,磨粒的平均直径设定为14μm,转速设定为2400rpm,传递扭矩设定为1.0kgm,确保与磨粒的平均直径为40μm,转速为1200rpm、传递扭矩为1.0kgm的条件的研磨加工大致相同的加工量。

[0070] 在第二喷丸硬化工序S5中,使用平均直径为160 $\mu\text{m}$ 以下的钢球颗粒进行喷丸硬化,得到双曲面齿轮10的成品。

[0071] 第四中间齿轮10d的小齿轮及环形齿轮上形成有研磨工序S4中的磨粒的压接而引起的沿齿肌方向延伸的条纹状的加工痕迹。因此,在第二喷丸硬化工序S5中,将去除在研磨工序S4中产生的加工痕迹作为主要目的。

[0072] 在使用平均直径超过160 $\mu\text{m}$ 的钢球颗粒的情况下,难以将齿面粗糙度抑制到0.8 $\mu\text{m}$ ,并且,无法充分发挥将润滑油保持在通过喷丸硬化所形成的凹坑(凹部)内的润滑油保持功能。在本实施例中,钢球颗粒的平均直径设定为160 $\mu\text{m}$ 。

[0073] 接着,描述前述双曲面齿轮的制造方法的作用及效果。

[0074] 在描述作用及效果时,进行了第一及第二验证。

[0075] 第一验证确认了双曲面齿轮上所形成的条纹状的加工痕迹。

[0076] 验证步骤中对使用#320、#500及#800的磨粒分别进行了研磨加工的双曲面齿轮的中间体使用4种(50 $\mu\text{m}$ 、90 $\mu\text{m}$ 、160 $\mu\text{m}$ 及190 $\mu\text{m}$ )不同粒径的钢球进行喷丸硬化,对各喷丸硬化后是否有条纹状的加工痕迹进行了确认。并且,#320是平均直径为40 $\mu\text{m}$ 的磨粒,#500是平均直径为25 $\mu\text{m}$ 的磨粒,#800是平均直径为14 $\mu\text{m}$ 的磨粒,除磨粒直径外的处理条件相同。

[0077] 如图4的验证结果所示,在使用#320及#500的磨粒进行研磨加工的情况下,双曲面齿轮上所形成的加工痕迹大,因此无论是什么粒径的钢球,都难以去除加工痕迹。另一方面,在使用#800的磨粒进行研磨加工的情况下,通过使用平均直径为50 $\mu\text{m}$ 及160 $\mu\text{m}$ 的钢球的喷丸硬化来去除了加工痕迹。

[0078] 由上确认了,至少在使用平均直径为14 $\mu\text{m}$ 的磨粒进行研磨加工的情况下,能够通过使用平均直径为160 $\mu\text{m}$ 以下的钢球进行喷丸硬化来去除条纹状的加工痕迹。并且,从制造公差等生产性的观点来看,平均直径为160 $\mu\text{m}$ 的钢球颗粒比平均直径为50 $\mu\text{m}$ 的钢球颗粒具有更高的供给稳定性。

[0079] 在第二验证中,制造方法及制造工序不同的3种双曲面齿轮A~C,比较了各自的啮合摩擦损失(%)。

[0080] 双曲面齿轮A是将研磨工序的磨粒设为#320(平均直径为40 $\mu\text{m}$ ),省略第二喷丸硬化工序而进行磷化(lubrite)处理工序,除此之外的工序与本实施例相同的制造方法来制造。双曲面齿轮B是将第二喷丸硬化工序的钢球颗粒的平均直径设为50 $\mu\text{m}$ ,除此之外的工序与本实施例相同的制造方法来制造。双曲面齿轮C为以本实施例的制造方法制造的成品。

[0081] 图5示出了验证结果。

[0082] 如图5所示,在双曲面齿轮A中,齿面粗糙度为0.98 $\mu\text{m}$ ,啮合摩擦损失为4.4%。在上述双曲面齿轮A中存在条纹状的加工痕迹。

[0083] 在双曲面齿轮B及C中,齿面粗糙度均为0.8 $\mu\text{m}$ 以下,啮合摩擦损失分别为2.2%及3.4%。并且,在双曲面齿轮B及C中均不存在条纹状的加工痕迹。由此确认,在第二喷丸硬化工序的钢球颗粒的平均直径为160 $\mu\text{m}$ 以下的情况下,啮合摩擦损失得到改善。而且,判明了平均直径越小啮合摩擦损失的改善效果越高。

[0084] 该制造方法具有能够执行使用直径为14 $\mu\text{m}$ 以下的磨粒的精抛光的研磨工序S4,因此能够去除热处理工序S2及第一喷丸硬化工序S3中所产生的齿形畸变,且改善双曲面齿轮10的齿面粗糙度。

[0085] 该制造方法在研磨工序S4后具有第二喷丸硬化工序S5,因此能够实现齿面强度的提高,并且能够在齿面上形成能够将润滑油保持在齿面上的凹坑。

[0086] 并且,在第二喷丸硬化工序S5中,在使用直径为 $14\mu\text{m}$ 以下的磨粒进行了研磨加工的第四中间齿轮10d上喷射直径为 $160\mu\text{m}$ 以下的颗粒,因此能够通过单一的第二喷丸硬化工序S5去除在研磨工序S4中所产生的条纹状的加工痕迹,能够避免齿面上的油膜破裂。

[0087] 由于表面处理工序包括热处理工序S2及喷射预定粒径的颗粒的第一喷丸硬化工序S3,因此可容易地硬化双曲面齿轮10的齿面。

[0088] 在研磨工序S4中,在将磨粒直径设为 $R(\mu\text{m})$ 且将驱动小齿轮的转速设为 $N(\text{rpm})$ 的情况下,满足式(1),因此无论磨粒的大小如何都能够使研磨工序S4的处理时间大致相同。

[0089] 由于将磨粒直径设为了 $14\mu\text{m}$ ,将驱动小齿轮的转速设为了 $2400\text{rpm}$ ,因此能够去除条纹状的加工痕迹,并且确保在研磨工序S4中所使用的研磨板的可控性。

[0090] 由于第二喷丸硬化工序S5后的双曲面齿轮10的齿面粗糙度为 $0.8\mu\text{m}$ 以下,因此能够大幅降低动力传递损失。

[0091] 双曲面齿轮10由于是后差速器3的小齿轮11及环形齿轮12,因此能够降低车辆的动力传递损失,能够改善油耗。

[0092] 接着,描述对上述实施方式进行部分修改的变形例。

[0093] 1)在上述实施方式中,描述了在四轮驱动车辆的工作装置中所使用的双曲面齿轮10的例子,但是也可以仅应用于前差速器2及后差速器3中之一的双曲面齿轮。并且,也可以应用于两轮驱动车辆的工作装置,只要是需要耐久性的传递动力机构,则也可以应用于除车辆外的任意机构。

[0094] 2)在上述实施方式中,描述了研磨工序S4之前执行热处理工序S2及第一喷丸硬化工序S3的例子,但至少与研磨工序S4连续地实施单一的第二喷丸硬化工序S5即可,也可在研磨工序S4之前仅实施热处理工序S2及第一喷丸硬化工序S3中的一个。并且,热处理工序S2及第一喷丸硬化工序S3的实施条件并不限于上述规格,可以设定适当的条件。

[0095] 3)另外,只要是本领域的技术人员则能够在不脱离本发明的精神的前提下以在上述实施方式中添加各种变化的形式或将各种实施方式组合的形式来实施,本发明也包括这样的修改。

[0096] 附图标记说明

[0097] 3:后差速器

[0098] 10:双曲面齿轮

[0099] 11:小齿轮

[0100] 12:环形齿轮

[0101] S1:切齿工序

[0102] S2:热处理工序

[0103] S3:第一喷丸硬化工序

[0104] S4:研磨工序

[0105] S5:第二喷丸硬化工序



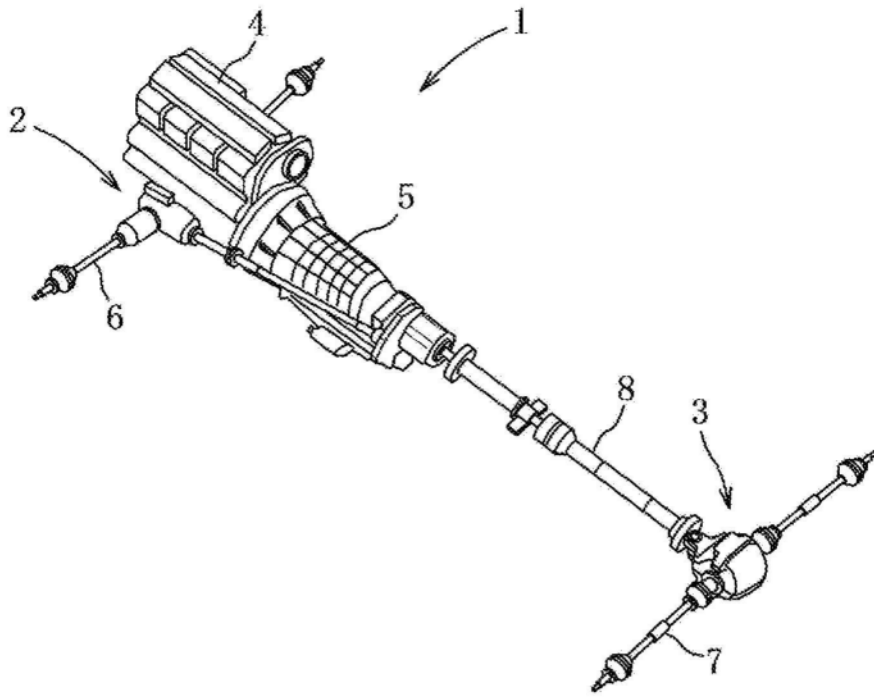


图1

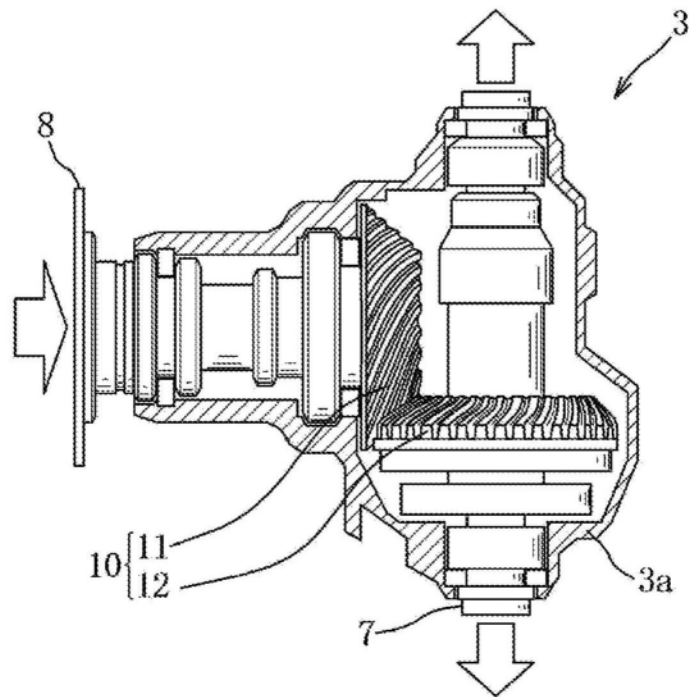


图2

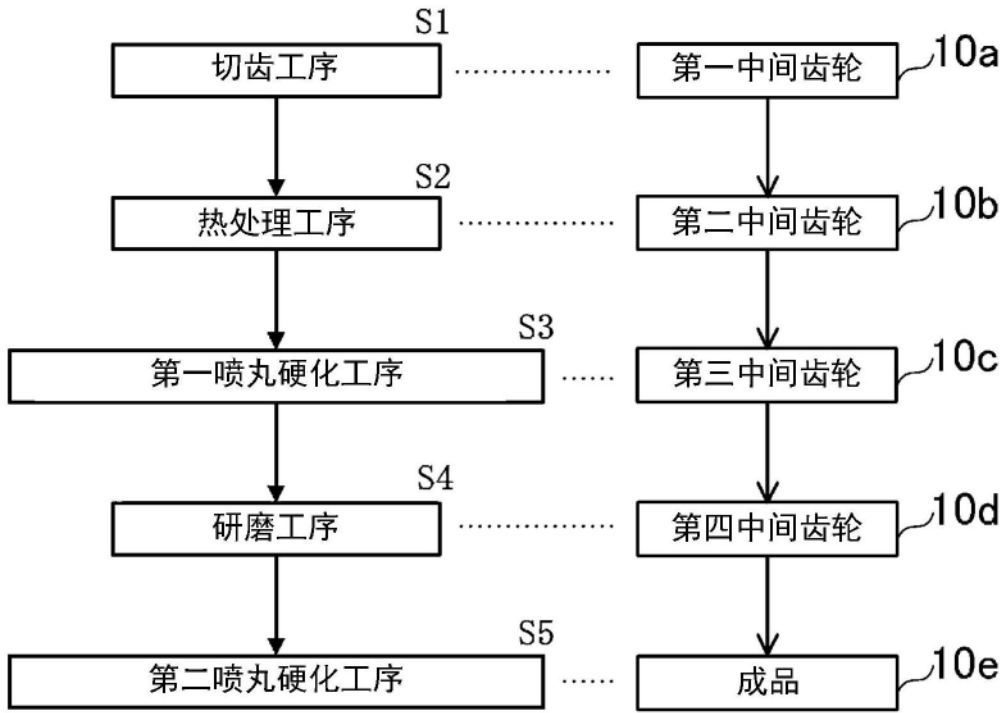


图3

编号 \ 粒径( $\mu\text{m}$ )	50	90	160	190
#320	-	×	×	×
#500	-	×	×	×
#800	○	-	○	-

图4

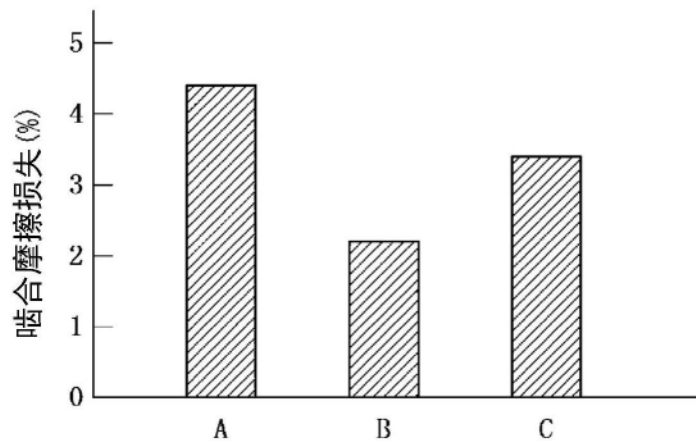


图5

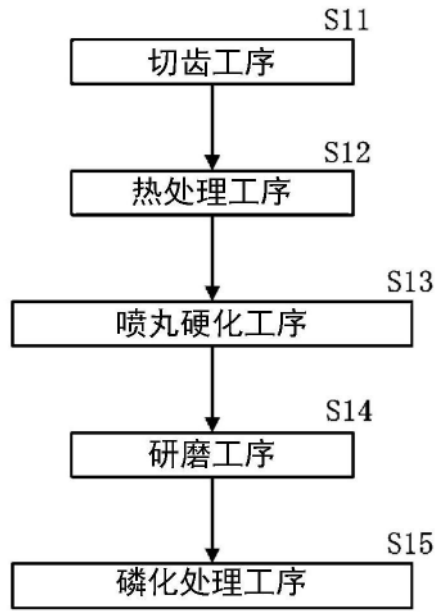


图6