



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104002209 B

(45)授权公告日 2018.04.27

(21)申请号 201410056444.7

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2014.02.19

B24B 5/04(2006.01)

B24B 5/42(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104002209 A

审查员 胡琰琰

(43)申请公布日 2014.08.27

(30)优先权数据

2013-035348 2013.02.26 JP

(73)专利权人 株式会社捷太格特

地址 日本大阪府

(72)发明人 赖经昌史 田野诚

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

代理人 李洋 苏琳琳

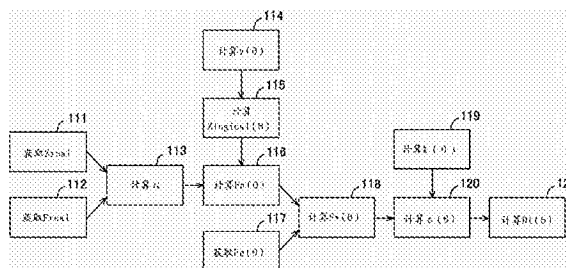
权利要求书2页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

磨床以及磨削方法

(57)摘要

本发明涉及能够使被加工物(W)的圆度高精度化的磨床以及磨削方法。冷却液动压(F_p)以及磨削效率(Z)的至少一个相对于被加工物(W)的相位 θ 变化,由此被加工物(W)的偏心圆筒部(Wa)从砂轮(15)接受的切入方向的推压力 $F(\theta)$ 变化,偏心圆筒部(Wa)的挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 也变化。磨床基于冷却液动压(F_p)以及磨削效率(Z)获取磨削时的偏心圆筒部(Wa)的挠曲量 $\varepsilon(\theta)$,基于挠曲量 $\varepsilon(\theta)$,计算针对砂轮(15)相对于偏心圆筒部(Wa)的相对指令位置的第一修正量 $D1(\theta)$,基于第一修正量 $D1(\theta)$ 修正砂轮(15)相对于偏心圆筒部(Wa)的相对的指令位置。



1. 一种磨床, 其与被加工物的旋转相位同步地使砂轮前进后退来进行磨削, 其特征在于, 包括:

挠曲量获取装置, 其基于所述被加工物的形状以及磨削条件, 获取磨削时的偏心圆筒部的挠曲量, 其中, 所述被加工物具有以从旋转中心偏移的位置为中心的所述偏心圆筒部, 由所述砂轮进行磨削的磨削部位是所述偏心圆筒部;

第一修正量计算装置, 其基于所述挠曲量, 计算针对所述砂轮相对于所述偏心圆筒部的相对的指令位置的第一修正量;

指令位置修正装置, 其基于所述第一修正量, 对所述砂轮相对于所述偏心圆筒部的相对的指令位置进行修正,

所述挠曲量获取装置具备:

基于所述被加工物的形状以及所述磨削条件, 通过使磨削点速度和切入量相乘来计算理论上的磨削效率的装置;

获取磨削时实际的磨削效率的装置;

获取磨削时所述偏心圆筒部从所述砂轮接受的切入方向的实际的推压力的装置;

基于获取的所述实际的磨削效率和所述实际的推压力, 计算表示所述实际的磨削效率和所述实际的推压力的关系的锋利系数的装置;

基于所述理论上的磨削效率以及所述锋利系数, 计算磨削阻力的装置;

获取无火花磨削时的所述实际的推压力作为冷却液动压的装置;

计算所述磨削阻力和所述冷却液动压的和亦即推压力计算值的装置;

获取所述被加工物的刚性的装置;

通过将所述推压力计算值除以刚性, 计算所述被加工物的旋转相位的挠曲量的装置。

2. 根据权利要求1所述的磨床, 其特征在于,

获取所述刚性的装置获取根据所述被加工物的旋转相位而不同的刚性,

计算所述挠曲量的装置通过将所述推压力计算值除以刚性, 计算与所述被加工物的旋转相位对应的挠曲量。

3. 根据权利要求1或2所述的磨床, 其特征在于,

在粗磨削后进行精磨削的情况下, 所述指令位置修正装置在所述粗磨削中基于所述第一修正量, 对所述砂轮相对于所述偏心圆筒部的相对的指令位置进行修正, 在所述精磨削中不进行基于所述第一修正量的所述相对的指令位置的修正。

4. 根据权利要求3所述的磨床, 其特征在于, 还具备:

测量磨削后的所述偏心圆筒部的圆度的装置;

基于所述圆度, 计算针对所述砂轮相对于所述偏心圆筒部的相对的指令位置的第二修正量的第二修正量计算装置,

所述指令位置修正装置, 在所述粗磨削中除了基于所述第一修正量之外还基于所述第二修正量来修正所述相对的指令位置, 在所述精磨削中基于所述第二修正量来修正所述相对的指令位置。

5. 一种磨削方法, 是与被加工物的旋转相位同步地使砂轮前进后退来进行磨削的方法, 其特征在于, 包括:

基于所述被加工物的形状以及磨削条件, 获取磨削时的偏心圆筒部的挠曲量的工序,

所述被加工物具有以从旋转中心偏移的位置为中心的所述偏心圆筒部,由所述砂轮进行磨削的磨削部位是所述偏心圆筒部;

基于所述挠曲量,计算针对所述砂轮相对于所述偏心圆筒部的相对的指令位置的第一修正量的工序;

基于所述第一修正量,对所述砂轮相对于所述偏心圆筒部的相对的指令位置进行修正的工序,

在获取所述挠曲量的工序包括:

基于所述被加工物的形状以及所述磨削条件,通过使磨削点速度和切入量相乘来计算理论上的磨削效率;

获取磨削时实际的磨削效率;

获取磨削时所述偏心圆筒部从所述砂轮接受的切入方向的实际的推压力;

基于获取的所述实际的磨削效率和所述实际的推压力,计算表示所述实际的磨削效率和所述实际的推压力的关系的锋利系数;

基于所述理论上的磨削效率以及所述锋利系数,计算磨削阻力;

获取无火花磨削时的所述实际的推压力作为冷却液动压;

计算所述磨削阻力和所述冷却液动压的和亦即推压力计算值;

获取所述被加工物的刚性;

通过将所述推压力计算值除以刚性,计算所述被加工物的旋转相位的挠曲量。

磨床以及磨削方法

[0001] 本申请主张于2013年2月26日提出的日本专利申请2013-035348号的优先权,并在此引用其全部内容。

技术领域

[0002] 本发明涉及磨床以及磨削方法。

背景技术

[0003] 日本特开2000-218479号公报记载有在圆筒磨削中测定被加工物的圆度,根据圆度误差制作修正量,并进行修正磨削。另外,在磨削曲柄销的情况下,曲柄销的刚性根据曲轴的旋转相位而不同,从而曲柄销的挠曲量发生变化。因此,日本特开2000-107902号公报以及日本特开平11-90800号公报记载有基于与旋转相位对应的曲柄销的挠曲量制作修正量,并进行修正磨削。由此,能够将曲柄销的圆度设为高精度。

[0004] 但是,即便根据旋转相位来考虑基于曲柄销的刚性的挠曲量,还是有使圆度高精度化的余地。

发明内容

[0005] 本发明是鉴于这样的情况而完成的,目的之一在于提供一种能够使圆度进一步高精度化的磨床以及磨削方法。

[0006] 本发明人对曲柄销的挠曲量因曲轴的旋转相位(以下简称相位)而不同的原因进行了专心研究,发现除了曲柄销的刚性因相位而不同外,冷却液动压以及磨削效率也因相位而不同,由此想到能够使圆度高精度化的本发明。

[0007] 本发明的一方式的磨床是与被加工物的旋转相位同步地使砂轮前进后退来进行磨削的磨床,上述被加工物具有以从旋转中心偏移的位置为中心的偏心圆筒部,由上述砂轮进行磨削的磨削部位是上述偏心圆筒部。冷却液动压以及磨削效率的至少一个根据上述被加工物的相位而不同,由此在磨削时,上述偏心圆筒部从上述砂轮接受的切入方向的推压力根据相位而不同,其结果,磨削时上述偏心圆筒部的挠曲量根据相位而不同,基于上述情况,该磨床具备:挠曲量获取装置,其基于上述被加工物的形状以及磨削条件,获取磨削时的上述偏心圆筒部的挠曲量;第一修正量计算装置,其基于上述挠曲量,计算针对上述砂轮相对于上述偏心圆筒部的相对的指令位置的第一修正量;指令位置修正装置,其基于上述第一修正量,对上述砂轮相对于上述偏心圆筒部的相对的指令位置进行修正。

[0008] 对上述方式的效果进行说明。本发明人发现冷却液动压以及磨削效率Z的至少一个根据相位而不同。在对偏心圆筒部进行磨削的情况下,砂轮外周上的磨削点的上下方向位置根据相位而不同。因此,磨削点相对于冷却液喷嘴的上下方向位置和水平方向位置根据相位而不同。其结果,冷却液动压根据相位而不同。另外,在对偏心圆筒部进行磨削的情况下,从旋转中心至磨削点的距离根据相位而不同。因此,磨削点上的被加工物的周速度(以下简称磨削点速度)根据相位而不同。这里,磨削效率是磨削点速度和切入量相乘而得

的值。因此,磨削点速度根据相位而不同,从而磨削效率因相位而不同。

[0009] 像这样,在磨削偏心圆筒部的情况下,冷却液动压以及磨削效率的至少一个根据相位而不同,其结果,偏心圆筒部的挠曲量不同。而且,通过基于该偏心圆筒部的挠曲量计算出的第一修正量,对上述砂轮相对于上述偏心圆筒部的相对的指令位置进行修正。因此,能够降低冷却液动压以及磨削效率根据相位而不同所引起的磨削误差。换句话说,能够使圆度高精度化。

[0010] 另外,本发明的其他方式的磨床中,在以上叙述的磨床中,上述挠曲量获取装置还可以具备以下的装置。即,基于上述被加工物的形状以及上述磨削条件,通过使磨削点速度和切入量相乘来计算理论上的磨削效率的装置;获取磨削时实际的磨削效率的装置;获取磨削时上述偏心圆筒部从上述砂轮接受的切入方向的实际的推压力的装置;基于获取的上述实际的磨削效率和上述实际的推压力,计算表示上述实际的磨削效率和上述实际的推压力的关系的锋利系数的装置;基于上述理论上的磨削效率以及上述锋利系数,计算磨削阻力的装置;获取无火花磨削时的上述实际的推压力作为冷却液动压的装置;计算上述磨削阻力和上述冷却液动压的和亦即推压力计算值的装置;获取上述被加工物的刚性的装置;通过将上述推压力计算值除以刚性,计算上述被加工物的相位的挠曲量的装置。

[0011] 对上述方式的效果进行说明。通过使用理论上的磨削效率、实际的推压力、锋利系数、磨削阻力、冷却液动压,能够计算出磨削阻力和冷却液动压的和亦即推压力计算值。通过将推压力计算值除以被加工物的刚性,能够可靠地计算出与被加工物的相位对应的挠曲量。其结果,能够可靠地使圆度高精度化。

[0012] 在本发明的又一其他方式中,在以上叙述的磨床的基础上,上述被加工物的刚性根据上述被加工物的相位而不同,由此,磨削时上述偏心圆筒部从上述砂轮接受的切入方向的推压力根据相位而不同,其结果,在磨削时上述偏心圆筒部的挠曲量根据相位而不同,在该情况下,也可以为获取上述刚性的装置获取根据上述被加工物的相位而不同的刚性,计算上述挠曲量的装置通过将上述推压力计算值除以刚性,计算与上述被加工物的相位对应的挠曲量。

[0013] 上述方式的效果为,通过使用根据被加工物的相位而不同的刚性,能够进一步使圆度高精度化。

[0014] 在本发明的又一其他方式的磨床中,在以上叙述的磨床中,也可以为在粗磨削后进行精磨削的情况下,上述指令位置修正装置在上述粗磨削中基于上述第一修正量进行修正,在上述精磨削中不进行基于上述第一修正量的修正。

[0015] 对上述方式的效果进行说明。通过在粗磨削中根据上述的第一修正量进行修正,能够使粗磨削结束时的圆度高精度化。一般而言,精磨削中的磨削量与粗磨削中的磨削量相比非常少。并且,精磨削中的冷却液的供给量也比粗磨削中的冷却液的供给量少。因此,由此精磨削中的偏心圆筒部的挠曲量比粗磨削中的偏心圆筒部的挠曲量小。因此即便在粗磨削中进行上述修正,在精磨削中不进行上述修正,也能够使精磨削后偏心圆筒部的圆度高精度化。

[0016] 在本发明的又一其他方式的磨床中,在以上叙述的磨床中,也可以为,具备:测量磨削后的上述偏心圆筒部的圆度的装置;基于上述圆度,计算针对上述砂轮和上述偏心圆筒部的相对的指令位置的第二修正量的第二修正量计算装置;上述指令位置修正装置,在

上述粗磨削中除了基于上述第一修正量进行修正外,还基于上述第二修正量进行修正,在上述精磨削中基于上述第二修正量进行修正。

[0017] 对上述方式的效果进行说明。使用根据圆度的测量结果得到的第二修正量,在粗磨削中除了基于上述第一修正量进行修正外,还基于上述第二修正量进行修正,在精磨削中基于上述第二修正量进行修正,从而能够使圆度进一步高精度化。

[0018] 本发明的其他方式的磨削方法是与被加工物的旋转相位同步地使砂轮前进后退来进行磨削的磨削方法。冷却液动压以及磨削效率的至少一个根据上述被加工物的相位而不同,从而在磨削时上述偏心圆筒部从上述砂轮接受的切入方向的推压力根据相位而不同。其结果磨削时,上述偏心圆筒部的挠曲量根据相位而不同,该情况的基础上,具备:基于上述被加工物的形状以及磨削条件,获取磨削时的上述偏心圆筒部的挠曲量的工序;基于上述挠曲量,计算针对上述砂轮相对于上述偏心圆筒部的相对的指令位置的第一修正量的工序;基于上述第一修正量修正上述砂轮相对于上述偏心圆筒部的相对的指令位置的工序。

附图说明

[0019] 通过以下参照附图对本发明的优选实施方式进行的详细描述,本发明的上述以及其它特征和优点会变得更加清楚,其中,相同的附图标记表示相同的要素,其中,

[0020] 图1是本发明的实施方式中的磨床的俯视图。

[0021] 图2A是表示在曲轴W的相位 θ 为 0° 的情况下,曲轴W的旋转中心O、曲柄销Wa的销中心Ow和砂轮15的位置关系的图。其中,图示为曲轴W不弯曲。

[0022] 图2B是表示在曲轴W的相位 θ 为 90° 的情况下,曲轴W的旋转中心O、曲柄销Wa的销中心Ow和砂轮15的位置关系的图。

[0023] 图2C是表示在曲轴W的相位 θ 为 180° 的情况下,曲轴W的旋转中心O、曲柄销Wa的销中心Ow和砂轮15的位置关系的图。

[0024] 图2D是表示在曲轴W的相位 θ 为 270° 的情况下,曲轴W的旋转中心O、曲柄销Wa的销中心Ow和砂轮15的位置关系的图。

[0025] 图3是磨削工序的说明,是表示砂轮15的X轴平均位置 X_{ave} 、曲柄销的外径 D_t 的时间变化的图。

[0026] 图4是修正处理的流程图。

[0027] 图5是表示第一修正量 $D1(\theta)$ 的计算顺序的框图。

[0028] 图6是表示实际的磨削效率 Z_{real} 和曲柄销Wa从砂轮15受到的切入方向的实际的推压力 F_{real} 的关系的图表。

[0029] 图7是表示与曲轴W的相位 θ 对应的磨削点速度 $v(\theta)$ 的图表。

[0030] 图8是表示与曲轴W的相位 θ 对应的理论上的磨削效率 $Z_{logical}(\theta)$ 的图表。

[0031] 图9是表示与曲轴W的相位 θ 对应的、曲柄销从砂轮受到的切入方向的推压力 $F^*(\theta)$ 、磨削阻力 $F_n(\theta)$ 、冷却液动压 $F_p(\theta)$ 的图表。

[0032] 图10是根据曲轴W的相位 θ 表示挠曲量 $\epsilon(\theta)$ 的图表。

[0033] 图11是表示与曲轴W的相位 θ 对应的第一修正量 $D1(\theta)$ 的图表。

[0034] 图12是表示第二修正量 $D2(\theta)$ 的计算顺序的流程图。

具体实施方式

[0035] 以下,对本发明的一实施方式的磨床以及磨削方法进行说明。作为上述的磨床,以砂轮座横向进给型圆筒磨床为例,参照图1进行说明。对于该磨床的加工对象的被加工物而言,例举曲轴W,将其磨削部位设定为曲柄销(偏心圆筒部)Wa。另外,在作为磨削部位的曲柄销Wa处形成有油孔等凹部A(图2C所示)。例如,沿径向贯通形成该油孔。

[0036] 磨床1按如下方式构成。将机座11固定在地板上,在机座11上安装以能够使曲轴W旋转的方式支承其两端的主轴12以及尾座装置13。曲轴W按照以轴颈为中心旋转的方式支承于主轴12以及尾座装置13。换句话说,作为磨削部位的曲柄销Wa形成以从旋转中心偏移的位置为中心的圆形。主轴12驱动曲轴W,使其旋转。

[0037] 并且,在机座11上设置有能够沿Z轴方向以及X轴方向移动的砂轮座14。在该砂轮座14上以能够旋转的方式支承砂轮15,并且,设置有用向磨削点供给冷却液的冷却液喷嘴19(图2A所示)。另外,在主轴12上设置有对施加至主轴12的X轴方向成分的力(切入方向的推压力)F进行测量的力传感器16。并且,在机座11上设置有对曲柄销Wa的直径进行测量的定尺寸装置17。并且,在磨床1上设置有使主轴12以及砂轮15旋转,且对砂轮15相对于曲柄销Wa的位置进行控制的控制装置18。

[0038] 作为磨削部位的曲柄销Wa是以从旋转中心偏移的位置为中心的圆形。因此,参照图2A~图2D,对与曲轴W的旋转中心O以及曲轴W的旋转相位 θ (以下称为相位 θ)对应的销中心Ow的位置进行说明。图2A~图2D是在图1中从Z轴正方向向负方向(从纸面右方向向左方向)观察曲柄销Wa和砂轮15的图。在图2A~图2D中图示为曲轴W未发生挠曲变形,并图示出冷却液喷嘴19以及磨削点P。

[0039] 在相位 θ 为 0° 时,如图2A所示,销中心Ow相对于旋转中心O位于与砂轮15相反的一侧(砂轮15切入的方向)。从砂轮15的上侧朝向磨削点P供给冷却液。在相位 θ 为 90° 时,如图2B所示,销中心Ow相对于旋转中心O位于下方。在相位 θ 为 180° 时,如图2C所示,销中心Ow相对于旋转中心O位于砂轮15侧。在相位 θ 为 270° 时,如图2D所示,销中心Ow相对于旋转中心O位于上方。

[0040] 接下来,参照图3对本实施方式的磨削方法的概要进行说明。作为图3的纵轴的砂轮15的X轴平均位置Xave是从X轴位置去除伴随曲柄的相位 θ 的变化的砂轮15的该X轴位置的周期性的变动成分的位置。在本实施方式中,按照粗磨削工序→精磨削工序→无火花磨削工序的顺序执行。在各磨削工序中,总是供给冷却液。

[0041] 首先,控制装置18使砂轮15沿X轴方向向曲轴W前进,开始粗磨削(粗磨削工序,图3横轴的T1~T2)。并且,在粗磨削时,通过控制装置18以向磨削点P供给的冷却液的供给量成为大流量的方式进行控制。

[0042] 在粗磨削工序中,如图3的T1~T2所示,使砂轮15向X轴负方向以恒定速度前进。换句话说,在粗磨削工序中,使砂轮15向按压曲柄销Wa的方向相对移动。在粗磨削工序中,为了增大磨削效率Z(每单位时间单位宽度的去除体积),使砂轮15的移动速度比精磨削工序大。换句话说,在图3的T1~T2中,砂轮15的X轴平均位置的时间变化大。在粗磨削工序期间,冷却液动压 $F_p(\theta)$ 以及磨削阻力 $F_n(\theta)$ 作用于曲柄销Wa,向切入方向挠曲。

[0043] 控制装置18在进行粗磨削的期间,判定由定尺寸装置17测量的曲柄销Wa的外径Dt

是否达到了预先设定的值 D_{th} 。若曲柄销 W_a 的外径 D_t 达到设定值 D_{th} ,则从粗磨削工序切换成精磨削工序(图3横轴的 $T_2 \sim T_3$)。

[0044] 在精磨削工序中,控制装置18通过使砂轮15向曲柄销 W_a 前进(向X轴负方向移动),开始精磨削。如图3所示,在精磨削工序中,使砂轮15的移动速度(切入速度)比粗磨削工序慢。因此,在精磨削工序中,能够不产生曲柄销 W_a 的磨削烧伤。并且,通过使冷却液的供给量为小流量,能够抑制油孔等凹部A引起的冷却液动压 $F_p(\theta)$ 的变化、和该变化引起的对磨削精度的负面影响。

[0045] 在进行精磨削的期间,若由定尺寸装置17测量的曲柄销 W_a 的外径 D_t 达到精磨削外径 D_f ,则从精磨削工序切换成无火花磨削工序。在将砂轮15相对于曲柄销 W_a 的切入量设为零的状态下进行无火花磨削。换句话说,在无火花磨削中,磨削在精磨削中磨削的剩余部分。而且,仅在预先设定的曲柄销 W_a 的转速下进行该无火花磨削。在图3横轴中是 $T_3 \sim T_4$ 。

[0046] 为了实现加工后的曲柄销 W_a 的圆度提高,本实施方式的控制装置18进行以下所示的修正处理。参照图4的流程图对修正处理进行说明。

[0047] 若开始粗磨削($S11$:是),则通过该指令位置修正装置对砂轮15相对于曲柄销 W_a 的相对的指令位置进行基于第一修正量 $D1(\theta)$ 以及第二修正量 $D2(\theta)$ 的修正($S12$)。这里,第一修正量 $D1(\theta)$ 是根据与磨削引起的推压力 $F(\theta)$ 对应的曲柄销 W_a 的挠曲量 $\epsilon(\theta)$ 计算出的修正量。第二修正量 $D2(\theta)$ 是根据通过圆度测量得到的圆度误差计算出的修正量。此外,后面叙述第一、第二修正量 $D1(\theta)$ 、 $D2(\theta)$ 的详细内容。

[0048] 而且,进行该修正至粗磨削结束的期间($S13$:否)。若粗磨削结束,则如图3所示,开始精磨削。于是,通过该指令位置修正装置进行基于第二修正量 $D2(\theta)$ 的上述相对的指令位置的修正($S14$)。进行该修正至精磨削结束的期间($S15$)。这里,精磨削中与粗磨削中相比,一般而言,磨削阻力小,所以修正量也不同。因此,在进行精磨削时不进行基于第一修正量 $D1(\theta)$ 的修正。

[0049] 接下来,对计算第一修正量 $D1(\theta)$ 的第一修正量计算装置和其计算顺序进行说明。这里,曲柄销 W_a 因从砂轮15接受的切入方向的推压力 $F(\theta)$,向切入方向(图2A~图2D的左方向)挠曲变形。

[0050] 如式(1)所示,推压力 $F(\theta)$ 成为磨削阻力 $F_n(\theta)$ 和冷却液动压 $F_p(\theta)$ 的加法值。

[0051]
$$F(\theta) = F_n(\theta) + F_p(\theta) \quad (1)$$

[0052] 换句话说,曲柄销 W_a 的挠曲量 $\epsilon(\theta)$ 是由推压力 $F(\theta)$ 引起的挠曲。以下也说明用于获取该挠曲量 $\epsilon(\theta)$ 的挠曲量获取装置和其获取方法。

[0053] 第一修正量 $D1(\theta)$ 是基于该挠曲量 $\epsilon(\theta)$ 决定的。这里,挠曲量 $\epsilon(\theta)$ 根据曲轴 W 的相位 θ 而不同。因此,第一修正量 $D1(\theta)$ 被设定成根据曲轴 W 的相位 θ 而不同的值。以下,参照图5~图11对第一修正量 $D1(\theta)$ 的计算顺序进行说明。

[0054] 首先,计算磨削阻力 $F_n(\theta)$ 。如式(2)所示,通过磨削效率 Z 、砂轮15的锋利系数 α 、以及磨削宽度的系数 H (以下称为磨削宽度系数 H)的积来表示磨削阻力 $F_n(\theta)$ 。后面叙述磨削宽度系数 H 的详细内容。

[0055]
$$F_n = Z \times \alpha \times H \quad (2)$$

[0056] 因此,在进行粗磨削工序时,以切入量 d 为基础获取实际的磨削效率 Z_{real} (图5的标记111),且以力传感器16的检测值为基础获取实际的推压力 F_{real} (图5的标记112)。将此

时的磨削宽度设为 B_0 。

[0057] 磨削宽度系数 H 是应用本实施方式欲进行磨削的曲柄销的磨削宽度 B 与 B_0 之比。能够根据曲柄销 W_a 以及砂轮15的形状导出磨削宽度系数 H 。能够根据磨削条件导出切入量 d ，也可以使用定尺寸装置17的信号通过运算求出切入量 d 。

[0058] 根据式(1)(2)的关系，在图6中，在将实际的磨削效率 Z_{real} 设为横轴，将实际的推压力 F_{real} 设为纵轴的情况下，图表的斜率为锋利系数 α 和磨削宽度系数 H 的乘法值。即，通过求出图6的斜率，除以磨削宽度系数 H ，能够计算出锋利系数 α （图5的标记113）。锋利系数 α 表示磨削阻力 F_n 和磨削效率 Z 的关系。锋利系数 α 根据砂轮15的磨粒的状态而变化。因此，在磨削多个曲轴 W 时，适当地通过在粗磨削工序中进行测量，更新锋利系数 α 。

[0059] 接下来计算磨削点速度 $v(\theta)$ （图5的标记114）。磨削点速度 $v(\theta)$ 是磨削点 P 的被加工物的周速度，与从旋转中心 O 至磨削点 P 的距离 OP 成正比。如图2A～图2D所示，该距离 OP 根据相位 θ 而不同。因此，如图7所示，磨削点速度 $v(\theta)$ 根据相位 θ 而变化。例如，在相位 θ 为 180° 的情况下，如图2C所示，磨削点 P 距旋转中心 O 最远，如图7所示，磨削点速度 $v(180^\circ)$ 成为最大的值。这样，能够根据曲轴 W 的形状以及磨削条件以几何学计算出磨削点速度 $v(\theta)$ 。

[0060] 接着，使用磨削点速度 $v(\theta)$ ，计算出理论上的磨削效率 $Z_{logical}(\theta)$ （图5的标记115）。如式(3)所示，能够通过磨削点速度 $v(\theta)$ 和切入量 d 相乘得到磨削效率 $Z_{logical}(\theta)$ 。其中，在式(3)中考虑凹部 A 带来的影响量 γ 。

$$[0061] \quad Z_{logical}(\theta) = d \times v(\theta) + \gamma \quad (3)$$

[0062] 如图8所示，磨削效率 $Z_{logical}(\theta)$ 根据相位 θ 而变化。在图8中，在相位 θ 为 180° 附近，磨削效率 $Z_{logical}(\theta)$ 急剧降低的部分取决于凹部 A 的影响量 γ 。

[0063] 而且，根据锋利系数 α 、理论上的磨削效率 $Z_{logical}(\theta)$ 以及磨削宽度系数 H 通过式(4)计算出磨削阻力 $F_n(\theta)$ （图5的标记116）。式(4)是使式(2)成为相位 θ 的函数而得的式子。如图9的双点划线所示，磨削阻力 $F_n(\theta)$ 根据相位 θ 而变化。

$$[0064] \quad F_n(\theta) = Z_{logical}(\theta) \times \alpha \times H \quad (4)$$

[0065] 接着，获取冷却液动压 $F_p(\theta)$ （图5的标记117）。冷却液动压 $F_p(\theta)$ 与磨削阻力 $F_n(\theta)$ 成为零的状态的实际的推压力 $F_{real}(\theta)$ 相当，即与无火花磨削时的实际的推压力 $F_{real}(\theta)$ 相当。因此，也可以在精磨削后进行的无火花磨削时获取冷却液动压 $F_p(\theta)$ ，还可以在粗磨削刚开始前进行无火花磨削，此时获取冷却液动压 $F_p(\theta)$ 。如图9的虚线所示，冷却液动压 $F_p(\theta)$ 根据相位 θ 而不同。

[0066] 这里，如图2A～图2D所示，若相位 θ 不同，则磨削点 P 相对于冷却液喷嘴的位置不同。因此，向磨削点 P 供给的冷却液的供给量根据相位 θ 而不同。其结果，冷却液动压 $F_p(\theta)$ 根据相位 θ 而不同。

[0067] 例如，如图9的虚线所示，相位 θ 为 90° （参照图2B）的冷却液动压 $F_p(90^\circ)$ 最小。另一方面，如图9的虚线所示，相位 θ 为 270° （参照图2D）的冷却液动压 $F_p(\theta)$ 最大。另外，相位 θ 为 180° 时，由于油孔 AA 的影响，与前后的相位相比，冷却液动压 $F_p(180^\circ)$ 变小。

[0068] 由于能够获得磨削阻力 $F_n(\theta)$ 以及冷却液动压 $F_p(\theta)$ ，所以能够通过式(1)计算出它们的和亦即推压力计算值 $F^*(\theta)$ （图5的标记118）。如图9的粗实线所示，推压力计算值 $F^*(\theta)$ 根据相位 θ 而不同。在相位 θ 为 250° 附近最大，在 70° 附近最小。另外，在相位 θ 为 180° 前后，因油孔 AA 的影响而降低。

[0069] 接着,如图5所示,根据曲轴W的形状计算曲柄销Wa部分中的切入方向的刚性 $K(\theta)$ (图5的标记119)。也能够基于实测值计算出该刚性 $K(\theta)$,还能够通过解析获取该刚性 $K(\theta)$ 。该刚性 $K(\theta)$ 根据相位 θ 而不同。

[0070] 接下来,使用推压力计算值 $F^*(\theta)$ 以及刚性 $K(\theta)$,根据式(5)计算出由推压力计算值 $F^*(\theta)$ 引起的曲柄销Wa的挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ (图5的标记120)。

[0071] $\varepsilon(\theta) = F^*(\theta) / K(\theta)$ (5)

[0072] 挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 是通过推压力计算值 $F^*(\theta)$ 除刚性 $K(\theta)$ 求出的。如图10所示,该挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 根据相位 θ 而变化。

[0073] 由于挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 根据相位 θ 而不同,产生加工后的曲柄销Wa的圆度误差。因此,计算为了使由挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 引起的圆度误差为零的第一修正量 $D1(\theta)$ (图5的标记121)。换句话说,决定第一修正量 $D1(\theta)$,以便抵消与相位 θ 对应的挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 的变化引起的实际的切入量的变化。如图11所示那样生成第一修正量 $D1(\theta)$ 。即,以使挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 的波形成为相对于图10的相位 θ 上下反转的波形的方式,生成第一修正量 $D1(\theta)$ 。

[0074] 通过根据这样决定出的第一修正量 $D1(\theta)$ 进行修正,能够降低因冷却液动压 $Fp(\theta)$ 以及磨削效率 $Z(\theta)$ 根据相位 θ 而不同引起的磨削误差。换句话说,能够使曲柄销Wa的圆度成为高精度。

[0075] 如使用图4所述那样,在粗磨削工序中进行基于第一修正量 $D1(\theta)$ 的修正。通过在粗磨削中根据第一修正量 $D1(\theta)$ 进行修正,能够使粗磨削结束时的曲柄销Wa的圆度高精度化。另一方面,精磨削中的磨削量与粗磨削中的磨削量相比非常少。并且,精磨削中的冷却液的供给量与粗磨削中的冷却液的供给量相比也少。由此,精磨削中的曲柄销Wa的挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 比粗磨削中的曲柄销Wa的挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 小。

[0076] 因此,在本发明的其它的实施方式中,在粗磨削中进行上述修正,在精磨削中不进行上述修正。即便在精磨削中不进行上述修正,也能够精磨削后,使曲柄销Wa的圆度高精度化。

[0077] 接下来,参照图12的流程图对计算第二修正量 $D2(\theta)$ 的第二修正量计算装置和其计算顺序进行说明。对于第二修正量 $D2(\theta)$ 而言,测量实际磨削结束后的曲柄销Wa的圆度(步骤S21),获取圆度误差。计算使该圆度误差为零的第二修正量 $D2(\theta)$ (步骤S22)。通过使用计算出的第二修正量 $D2(\theta)$ 进行修正,能够使圆度成为更高的高精度。

[0078] 在上述实施方式中,在粗磨削工序中,不仅进行基于第一修正量 $D1$ 的修正,还同时进行基于第二修正量 $D2$ 的修正。通过同时采用基于第二修正量 $D2$ 的修正,能够去除挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 以外的影响引起的圆度误差、挠曲量 $\varepsilon(\theta)$ 的计算误差引起的圆度误差。另外,在本发明的又一其它的实施方式中,在粗磨削工序中仅应用第一修正量 $D1$ 。即便在仅应用第一修正量 $D1$ 的情况下,对于圆度误差,也能够得到充分的效果。

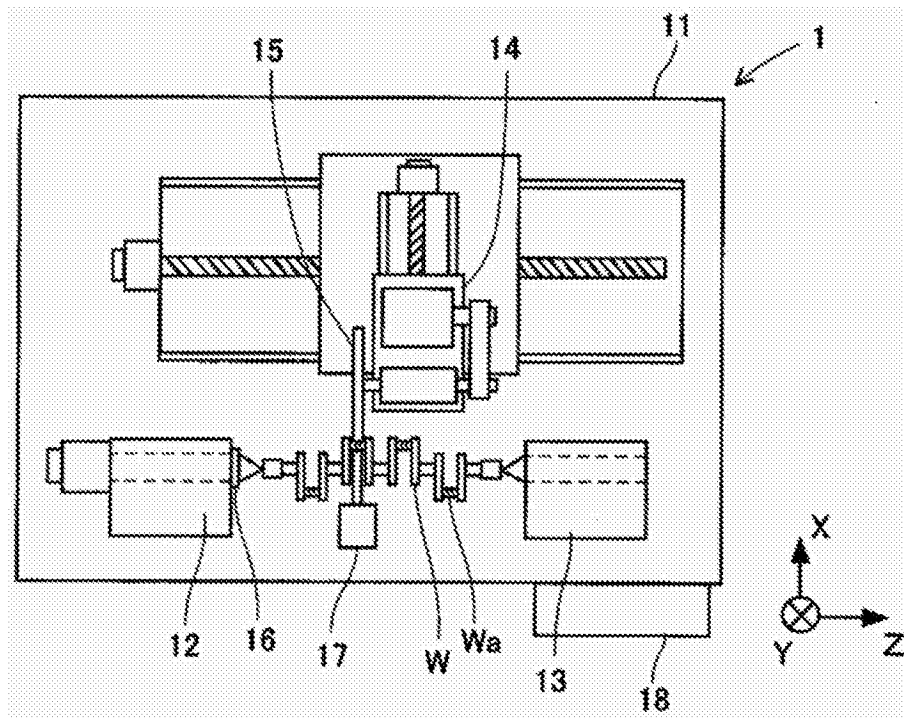


图1

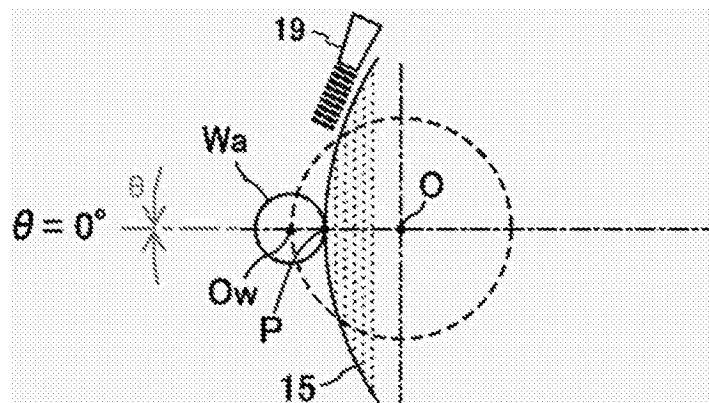


图2A

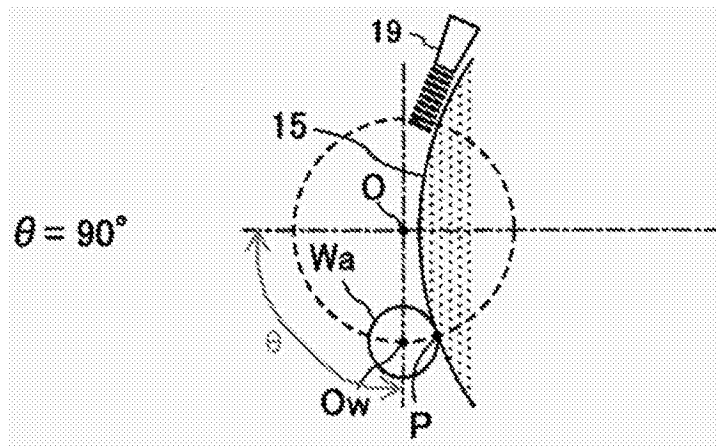


图2B

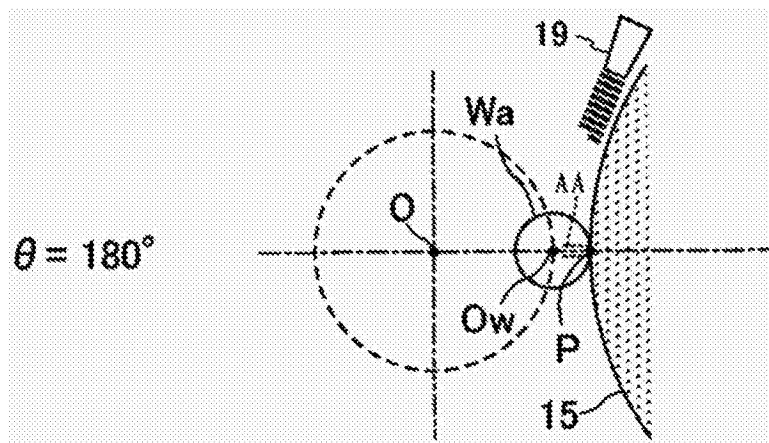


图2C

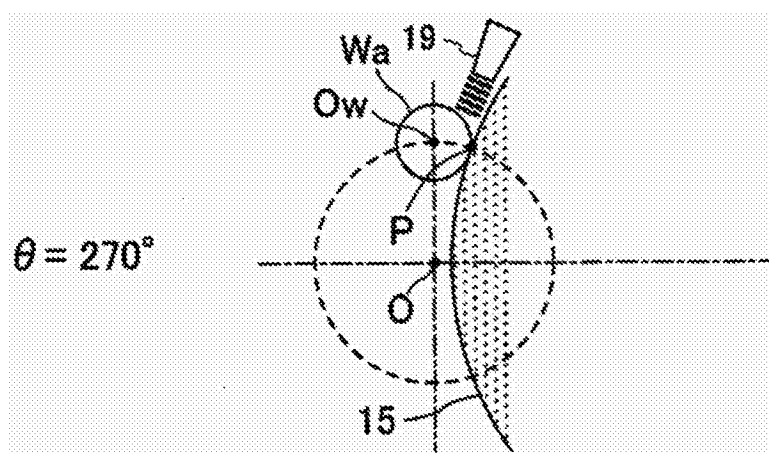


图2D

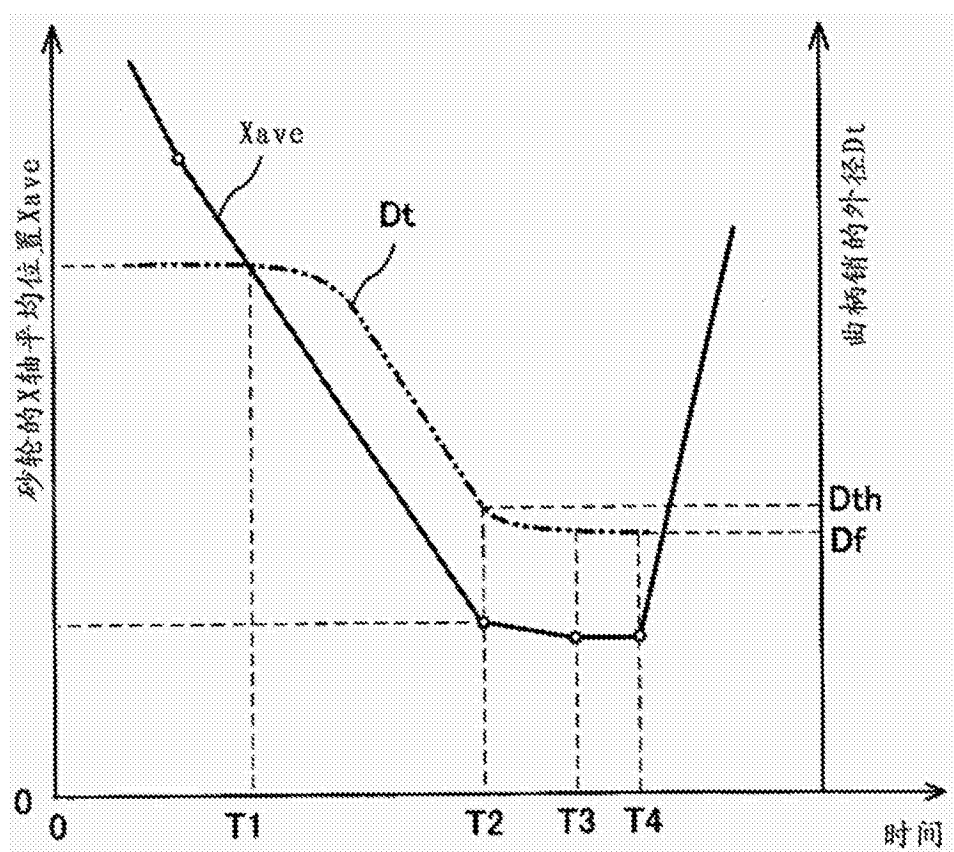


图3

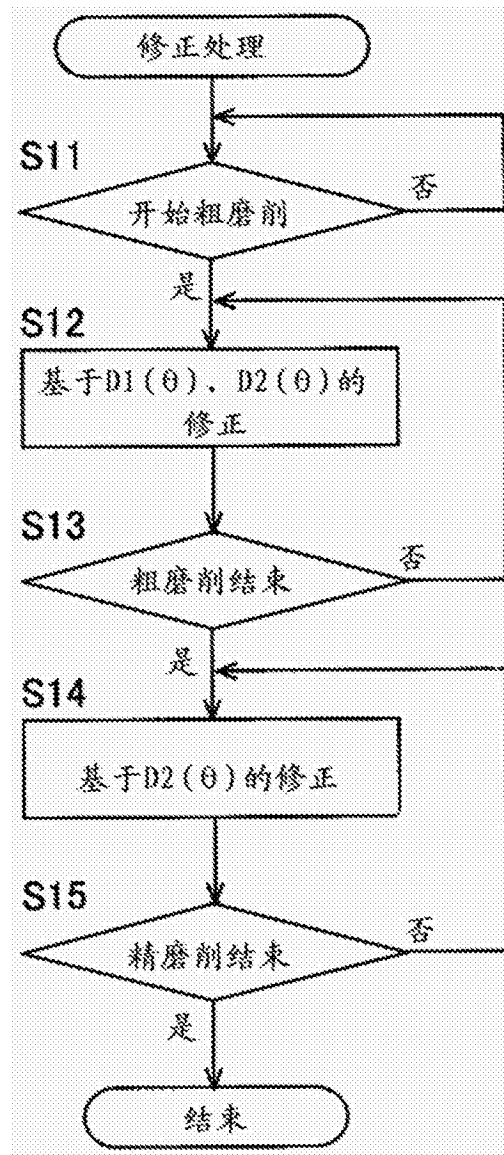


图4

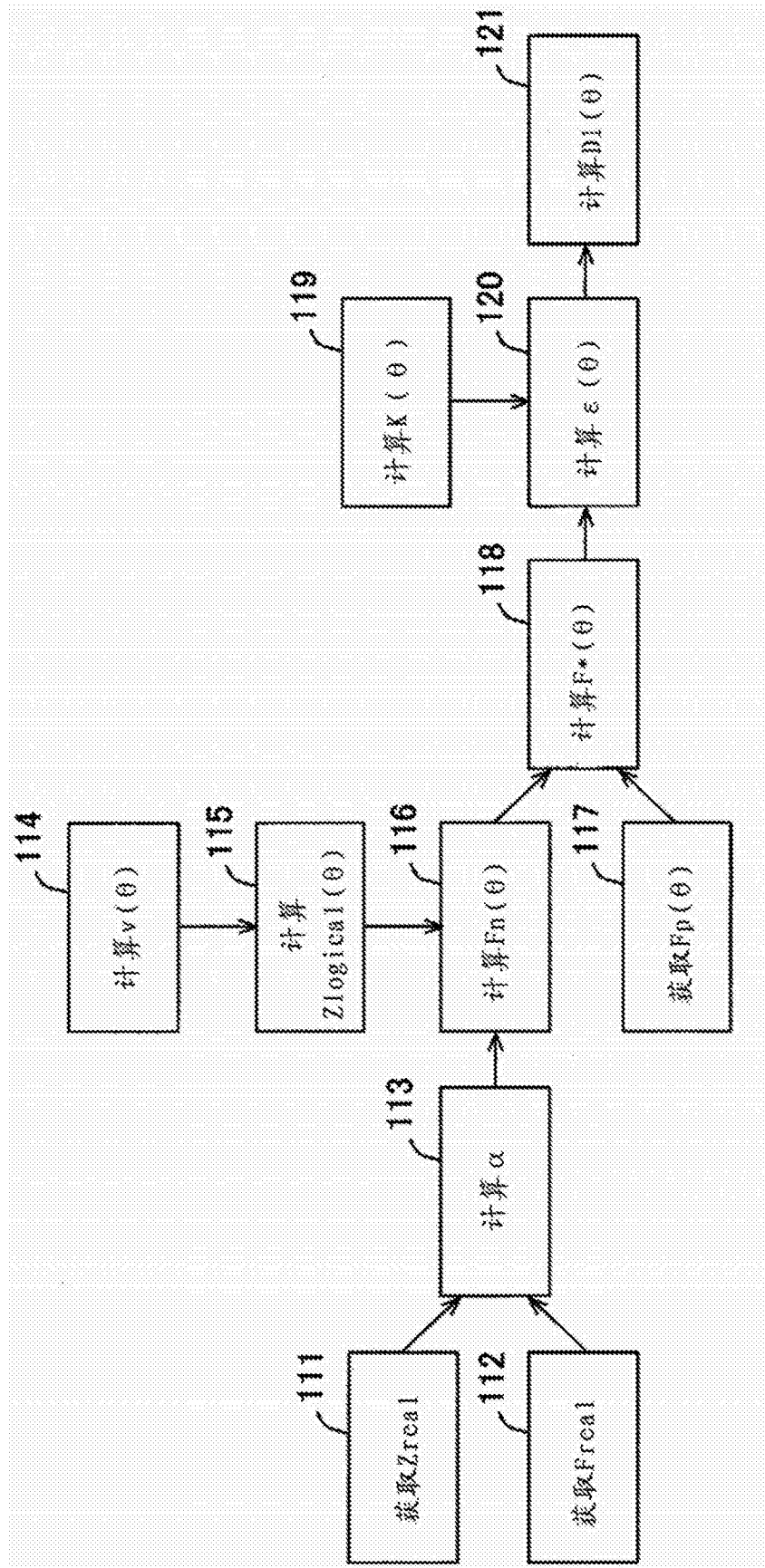


图5

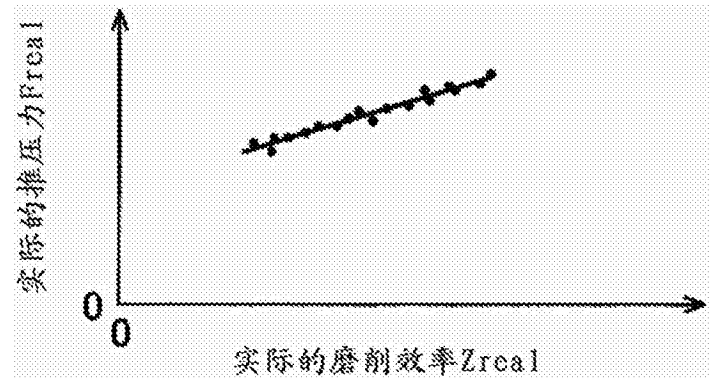


图6

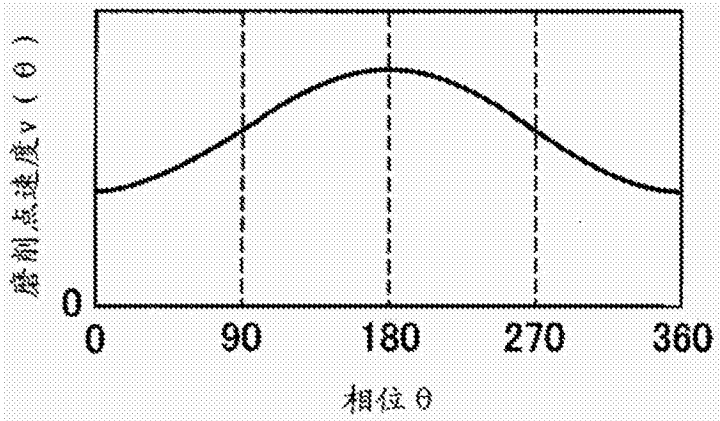


图7

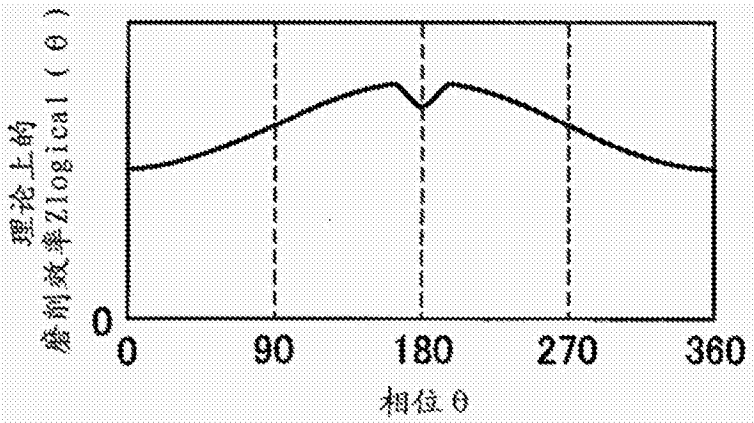


图8

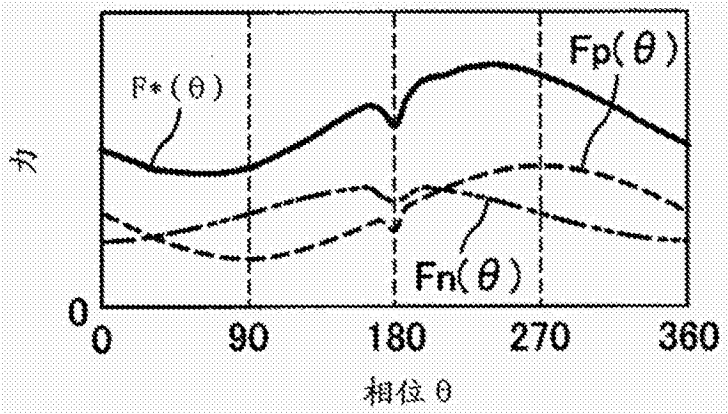


图9

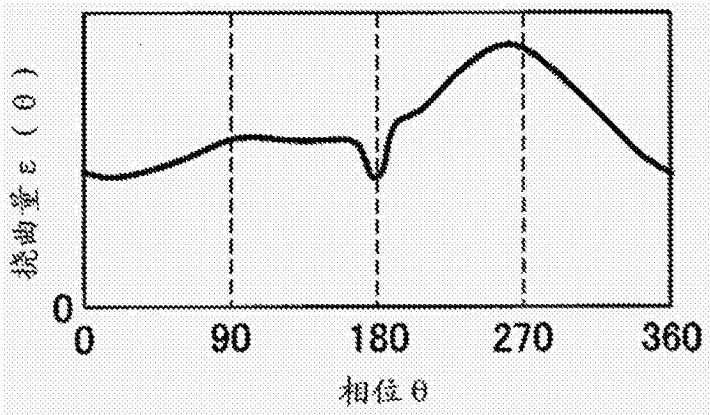


图10

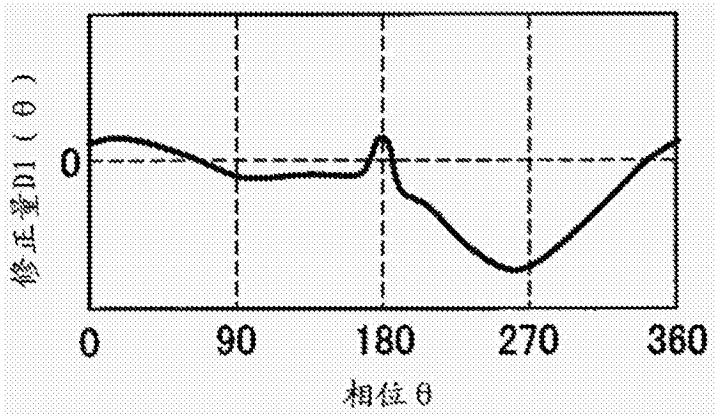


图11

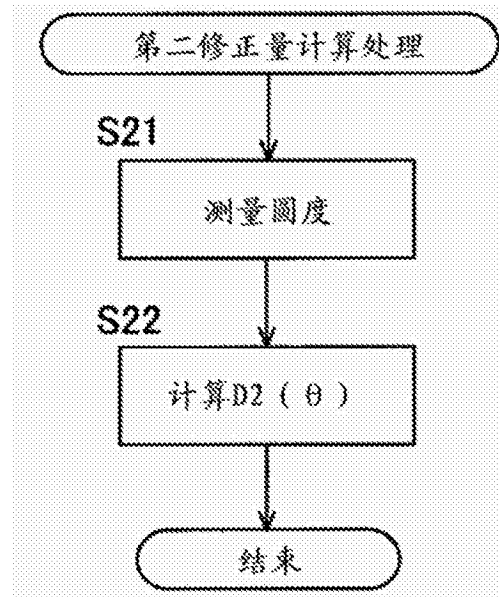


图12