



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106406237 B

(45)授权公告日 2018.12.21

(21)申请号 201610970779.9

(22)申请日 2016.10.28

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106406237 A

(43)申请公布日 2017.02.15

(73)专利权人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所  
地址 130033 吉林省长春市经济技术开发区东南湖大路3888号

(72)发明人 崔庆龙 代雷 杨怀江 隋永新

(74)专利代理机构 深圳市科进知识产权代理事务所(普通合伙) 44316

代理人 赵勍毅

(51)Int. Cl.

G05B 19/4097(2006.01)

(56)对比文件

CN 102794488 A, 2012.11.28,

JP 2011528829 A, 2011.11.24,

TW 201525633 A, 2015.07.01,

US 2013150994 A1, 2013.06.13,

门延武等.自由曲面薄壁工件加工的柔性定位方法研究.《制造技术与机床》.2008,(第10期),

白清顺等.复杂曲面微模具的加工仿真及实验研究.《制造技术与机床》.2009,(第6期),

审查员 王颖翀

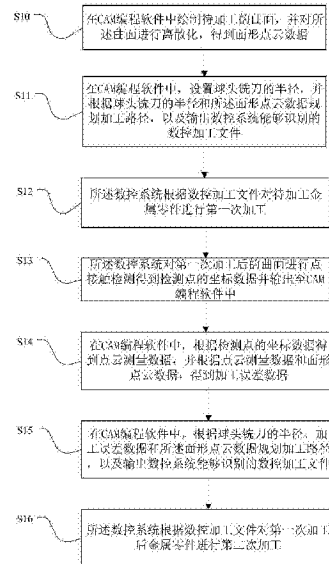
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种具有自由曲面金属零件的加工方法

(57)摘要

本发明涉及一种具有自由曲面金属零件的加工方法,所述加工方法包括:在CAM编程软件中对所述曲面进行离散化,得到面形点云数据;设置球头铣刀的半径,并根据球头铣刀的半径和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件;对待加工金属零件进行第一次加工;所述数控系统对第一次加工后的曲面进行点接触检测得到检测点的坐标数据并输出;根据检测点的坐标数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据;根据球头铣刀的半径、加工误差数据和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件;对第一次加工后金属零件进行第二次加工。



1. 一种具有自由曲面金属零件的加工方法,其特征在于:所述加工方法包括:

在CAM编程软件中绘制待加工的曲面,并对所述曲面进行离散化,得到面形点云数据,其中所述面形点云数据包括待加工的曲面中各个点相对于待加工金属零件的三维坐标数据;

在CAM编程软件中,设置球头铣刀的半径,并根据球头铣刀的半径和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件;

所述数控系统根据数控加工文件对待加工金属零件进行第一次加工;

所述数控系统对第一次加工后的曲面进行点接触检测得到检测点的坐标数据并输出至CAM编程软件中;

在CAM编程软件中,根据检测点的坐标数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据;

在CAM编程软件中,根据球头铣刀的半径、加工误差数据和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件;

所述数控系统根据数控加工文件对第一次加工后金属零件进行第二次加工。

2. 根据权利要求1所述的加工方法,其特征在于:在CAM编程软件中,根据检测点的坐标数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据的步骤之后,还包括:

判断加工误差数据是否小于或等于误差预设值;

如果是,结束对金属零件的加工;

如果不是,进入在CAM编程软件中,根据球头铣刀的半径、加工误差数据和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件的步骤。

3. 根据权利要求1所述的加工方法,其特征在于:所述对所述曲面进行离散化,得到面形点云数据,具体为:

将所述曲面离散成曲面上的多个点;

设置离散点的间距和离散点分布方式,并根据所述离散点的间距和离散点分布方式,得到面形点云数据。

4. 根据权利要求1所述的加工方法,其特征在于:所述对所述曲面进行离散化,得到面形点云数据,具体为:

将所述曲面离散成曲面上的多个点;

设置离散点的个数和离散点分布方式,并根据所述离散点的个数和离散点分布方式,得到面形点云数据。

5. 如权利要求3或4所述的加工方法,其特征在于:所述离散点分布方式为矩形点分布。

6. 根据权利要求1所述的加工方法,其特征在于:所述检测点的坐标数据具体为:所述检测点与待加工金属零件位置相对应的坐标数据。

7. 如权利要求6所述的加工方法,其特征在于:所述在CAM编程软件中,根据检测点的坐标数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据的步骤,具体为:

在CAM编程软件中,根据检测点与待加工金属零件位置相对应的坐标数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据。

8. 如权利要求7所述的加工方法,其特征在于:所述在CAM编程软件中,根据检测点与待加工金属零件位置相对应的坐标数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据的步骤,具体包括:

在面形点云数据中选取多个特征点,得到特征点的面形点云数据;

根据多个特征点从检测点与待加工金属零件位置相对应的坐标数据,得到特征点的点云测量数据,其中,所述特征点的点云测量数据包括特征点的实际三维坐标数据;

根据特征点的面形点云数据和特征点的点云测量数据,得到加工误差数据。

9. 如权利要求8所述的加工方法,其特征在于:所述根据特征点的面形点云数据和特征点的点云测量数据,得到加工误差数据的步骤,具体为:

根据特征点的面形点云数据、特征点的点云测量数据和待加工的曲面,得到实际加工的曲面面形;

对待加工的曲面和实际加工的曲面面形进行比较,得到加工误差数据。

10. 如权利要求1所述的加工方法,其特征在于:所述设置球头铣刀的半径步骤,具体为球头半径小于或等于待加工的曲面上的最小曲率半径且球刀的半径大于或等于待加工的曲面上的最小曲率半径。

## 一种具有自由曲面金属零件的加工方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及机械加工技术领域,尤其涉及一种具有自由曲面金属零件的加工方法。

### 背景技术

[0002] 随着数控机床技术和CAD/CAM现代化数控技术的发展,金属零件的制造范围变得越来越广泛,有简单的形体零件向空间复杂曲面零件方向发展。由于含有自由曲面的零件,其形状美观,且曲面有很高的自由度,形状易于调整,且有许多优良的力学、光学性能。特别是将自由曲面引入光学系统中,可极大提高光学系统的成像质量和能量的传输效率。

[0003] 但是金属镜的加工需要经过开形,精加工,最后用金刚石车刀车削或者抛光成镜面。精加工过程中要留有余量,便于后续的金金刚石车削或抛光,如果精加工面形精度足够高,则留有的余量可以足够的小,可以为后续的加工省去很多加工步骤,因此高质量的精加工面形精度对整个金属镜的加工有重要的影响。通过现代的数控超精密制造技术,采用多轴联动加工中心,配合CAM计算机图形化编程技术,建立计算机与CNC间通讯,理论上可以加工出任意形状的自由曲面。但是在此过程中涉及多种误差,例如刀具形状和半径,机床定位等,最后累积到所加工曲面的面形误差,直接影响了加工精度。而如果提高加工精度,例如引入更高精度的加工机床,使用更高精度的刀具和装夹持设备,那么将提高金属镜的加工成本。

### 发明内容

[0004] 本发明旨在解决现有技术中由于加工曲面的面形误差影响了加工精度的技术问题,提供一种有效提高自由曲面的加工精度且降低加工成本的具有自由曲面金属零件的加工方法。

[0005] 本发明的实施例提供一种具有自由曲面金属零件的加工方法,所述加工方法包括以下步骤:在CAM编程软件中绘制待加工的曲面,并对所述曲面进行离散化,得到面形点云数据,其中所述面形点云数据包括待加工的曲面中各个点相对于待加工金属零件的三维坐标数据;

[0006] 在CAM编程软件中,设置球头铣刀的半径,并根据球头铣刀的半径和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件;

[0007] 所述数控系统根据数控加工文件对待加工金属零件进行第一次加工;

[0008] 所述数控系统对第一次加工后的曲面进行点接触检测得到检测点的坐标数据并输出至CAM编程软件中;

[0009] 在CAM编程软件中,根据检测点的坐标数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据;

[0010] 在CAM编程软件中,根据球头铣刀的半径、加工误差数据和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件;

[0011] 所述数控系统根据数控加工文件对第一次加工后金属零件进行第二次加工。

[0012] 本发明的方案与现有技术相比,通过图形化编程加工曲面与在线检测曲面相结合即加工与检测相结合,且误差补偿的方式加工,使得加工曲面面形精度得到保证即提高自由曲面的加工精度,而且不需要引入更高精度的加工机床,使用更高精度的刀具和装夹持设备,从而降低加工成本。

### 附图说明

[0013] 图1为本发明具有自由曲面金属零件的加工方法一种实施例的流程图。

[0014] 图2为本发明具有自由曲面金属零件的加工方法另一种实施例的流程图。

[0015] 图3本发明一种自由曲面金属反射镜的铣削成型的被加工曲面离散化模型。

[0016] 图4本发明一种自由曲面金属反射镜的铣削成型的加工示意图。

[0017] 图中,40、球头铣刀;41、车床探针。

### 具体实施方式

[0018] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明。

[0019] 本发明提供一种实施的具有自由曲面金属零件的加工方法,如图1所示,所述加工方法包括:

[0020] 步骤S10,在CAM(computer Aided Manufacturing,计算机辅助制造)编程软件中绘制待加工的曲面,并对所述曲面进行离散化,得到面形点云数据,其中所述面形点云数据包括待加工的曲面中各个点相对于待加工金属零件的三维坐标数据;

[0021] 步骤S11,在CAM编程软件中,设置球头铣刀的半径,并根据球头铣刀的半径和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件;

[0022] 步骤S12,所述数控系统根据数控加工文件对待加工金属零件进行第一次加工;

[0023] 步骤S13,所述数控系统对第一次加工后的曲面进行点接触检测得到检测点的坐标数据并输出至CAM编程软件中;

[0024] 步骤S14,在CAM编程软件中,根据检测点的坐标数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据;

[0025] 步骤S15,在CAM编程软件中,根据球头铣刀的半径、加工误差数据和所述面形点云数据规划加工路径,以及输出数控系统能够识别的数控加工文件;

[0026] 步骤S16,所述数控系统根据数控加工文件对第一次加工后金属零件进行第二次加工。

[0027] 在具体实施中,所述金属零件可以为金属反射镜,由于功能的需要,金属反射镜的面形可能是一些特殊设计的自由曲面,比如如抛物面,高次曲面,因此在机械制造中会涉及到自由曲面的加工。自由曲面是空间立体结构,常用方程或者三维模型加以描述,相比于常规零件的加工更加困难,通过采用数控加工中心与球形铣刀,图形化编程规划刀路,来加工金属镜坯,在每次加工后通过在线测量实际加工曲面的上特征点坐标,绘制实际加工曲面,通过对加工曲面与设计曲面的比较,计算加工误差量,重新规划刀路并加工,如此迭代加工,逐步减小加工误差,最终得到满足设计要求的自由曲面面形。该方法可以提高自由曲面的加工效率,降低加工成本,有利于特殊金属镜反射镜的制造和应用。

[0028] 在具体实施中,在步骤S14之后,如图2所示,所述加工方法还包括:

[0029] 步骤S214,判断加工误差数据是否小于或等于误差预设值,如果是,进入步骤S2141,如果否,进入步骤S15。

[0030] 步骤S2141,结束对金属零件的加工。

[0031] 也就是说,当加工误差数据是否小于或等于误差预设值时,已经加工完成符合设计要求的自由曲面。

[0032] 在具体实施中,所述对所述曲面进行离散化,得到面形点云数据,具体为:

[0033] 将所述曲面离散成曲面上的多个点;

[0034] 设置离散点的间距 $d$ 和离散点分布方式,并根据所述离散点的间距和离散点分布方式,得到面形点云数据;

[0035] 或者,具体为:

[0036] 将所述曲面离散成曲面上的多个点;

[0037] 设置离散点的个数和离散点分布方式,并根据所述离散点的个数和离散点分布方式,得到面形点云数据。

[0038] 在具体实施中,如图3所示,所述离散点分布方式为矩形点分布。比如,待加工的金属零件的自由曲面的方程为 $z=f(x,y)$ ,其中 $f(x,y)$ 中 $x$ 、 $y$ 的次数决定了该曲面的复杂程度,将这口径内的曲面进行离散化,即将曲面离散成曲面上的多个点,点数越多,对于曲面的描述越精确,接着设置离散化间隔距离 $d$ 及离散化为矩形点分布,可以得到其面形点云矩阵 $A_{design}$ 即面形点云数据,点云矩阵中包括各个点相对于待加工的金属零件的三维坐标数据,同样的,如果该待加工的金属零件的曲面无法用方程描述,则可以直接用离散的点进行表示,也同样适用于该离散方法。

[0039] 在具体实施中,所述设置球头铣刀的半径步骤,具体为球头半径小于或等于待加工的曲面上的最小曲率半径且球刀的半径大于或等于待加工的曲面上的最小曲率半径,也就是在CAM编程软件中,选择半径为 $R$ 的球头铣刀,球刀选取的原则是球头半径小于或等于自由曲面上的最小曲率半径,同时尽可能的选择大半径的球刀,比如球头铣刀最大半径是10mm,使得加工出来的自由曲面更为光滑平整。

[0040] 在具体实施中,所述检测点的坐标数据具体为:所述检测点与待加工金属零件位置相对应的坐标数据。

[0041] 由于刀具测量或者数控系统中加工中心自身的动态误差,所加工的面形与理想面形会有一些的偏差,常规方法是将第一次加工的零件卸载后,在专门的检测设备上检测面形,不仅浪费时间而且还会引入二次装卡误差。在本发明中,完成第一次加工后使用在线接触式检测方法,即使用数控系统中探针,接触加工后曲面上一点位置,数控系统中机床即将该点在机床空间位置记录下来,得到该点坐标数据,优选情况下,转换成与待加工金属零件位置相对应的坐标数据。

[0042] 也就是说,步骤S13,具体为:

[0043] 步骤S2130,所述数控系统对第一次加工后的曲面进行点接触检测得到所述检测点与待加工金属零件位置相对应的坐标数据并输出至CAM编程软件中。

[0044] 如图2所示,步骤S14,具体为:

[0045] 步骤S2140,在CAM编程软件中,根据检测点与待加工金属零件位置相对应的坐标

数据得到点云测量数据,并根据点云测量数据和面形点云数据,得到加工误差数据。

[0046] 在具体实施中,步骤S2140,具体包括:

[0047] 在面形点云数据中选取多个特征点,得到特征点的面形点云数据即特征点矩阵 $A_{pick}$ ;

[0048] 根据多个特征点从检测点与待加工金属零件位置相对应的坐标数据,得到特征点的点云测量数据即特征点的测量矩阵 $A_{measure}$ ,其中,所述特征点的点云测量数据包括特征点的实际三维坐标数据;

[0049] 根据特征点的面形点云数据和特征点的点云测量数据,得到加工误差数据,即加工误差矩阵 $A_{err} = A_{pick} - A_{measure}$ 。

[0050] 由于曲面离散化的点云数量庞大,不可能检测所有的离散点,因此在先前离散的面形点云矩阵中抽出若干特征点,形成特征点矩阵 $A_{pick}$ ,使得数控系统的车床检测量大大减少。

[0051] 在具体实施中,所述根据特征点的面形点云数据和特征点的点云测量数据,得到加工误差数据的步骤,具体为:

[0052] 根据特征点的面形点云数据、特征点的点云测量数据和待加工的曲面,得到实际加工的曲面面形;

[0053] 对待加工的曲面和实际加工的曲面面形进行比较,得到加工误差数据。

[0054] 也就是说,根据所绘制的设计曲面图形和加工误差矩阵 $A_{err}$ ,重新规划刀路,补偿加工误差,进行金属零件的第二次加工。

[0055] 在具体实施中,金属零件为金属反射镜,金属反射镜的自由曲面为高次方程曲面在使用金刚石车削或抛光成金属镜面前,在数控系统的加工中心上铣削成设计的自由曲面面形,并留有一定的余量。自由曲面的描述采用点云法,这种方法不仅与图形化编程思想相一致,便于刀路的规划,同时可以适应自由曲面的描述。具体实施过程如下:

[0056] 在CAM编程软件中绘制方程曲面,设置离散点的间距(或点个数)以及离散点分布方式,可以得到如图3所示结果。选择半径为R的球头铣刀40,球刀选取的原则是球头半径要小于曲面上的最小曲率半径,同时尽可能的选择大半径的球刀,这样加工出来的曲面更为光滑平整。根据球头与球面接触离散点,合理规划出走刀路线如图4所示。刀具路线经处理后形成程序文件,导入加工中心,则可以对镜坯即待加工的金属零件进行第一次的加工。另外使用球头铣刀,即刀具旋转后形成的球面与镜坯曲面相接触,属于点接触,可以认为刀具通过面形点云数据所有的点与镜坯相接触,并完成了对镜坯的切削和完成对自由曲面的加工。

[0057] 第一轮加工完成后要进行在线的检测环节,由于曲面离散化的点云数量庞大,不可能检测所有的离散点,因此在先前离散的面形点云矩阵中抽出若干特征点,形成特征点的矩阵 $A_{pick}$ ,通过在线接触式测量装置即数控系统的车床探针41如图4所示,测量所有特征点相对于反射镜的实际空间位置,形成特征点的测量矩阵 $A_{measure}$ ,特征点的测量矩阵 $A_{measure}$ 中包含所选特征点的实际三维坐标位置(x,y,z)。利用特征点的测量矩阵 $A_{measure}$ 中的点信息和原先的方程曲面中对应点的信息,可以在CAM编程软件中绘制实际加工的曲面面形,然后将实际加工的曲面面形与原先的方程曲面即设计曲面进行比较可得到加工误差数据,即加工误差矩阵 $A_{err} = A_{pick} - A_{measure}$ ,这个误差可认为包括加工中心性能,加工参数,加工环境,

刀具测量等因素综合引起的加工误差,因此若能补偿这个误差即可有效降低加工误差。接着判断加工误差数据是否小于或等于误差预设值,如果否,根据原先绘制的曲面图形和加工误差矩阵 $A_{err}$ ,重新规划刀路,补偿加工误差,进行镜坯的第二次加工。

[0058] 第二次加工完成后,同样进行在线检测,如果检测结果符合曲面加工的误差要求,则加工完成,如果还是超差,则可以如此反复几轮,直至所加工面形达到要求。

[0059] 本发明的加工方法,通过采用计算机图形化编程技术规划刀具铣削路径,球形铣刀加工自由曲面,采用点云方式对所加工的自由曲面进行在线的测量和评价,计算得到点云误差矩阵,结合图形化编程技术,补偿加工数据以修正加工结果,如此迭代加工,逐渐减小加工误差,最终得到满足设计精度要求的自由曲面。该方法可以有效提高自由曲面的加工精度和提高加工效率,而且不需要引入更高精度的加工机床,使用更高精度的刀具和装夹持设备,从而有效地降低加工成本,有利于具有自由曲面零件的制造与应用。

[0060] 上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理和最佳实施例,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。



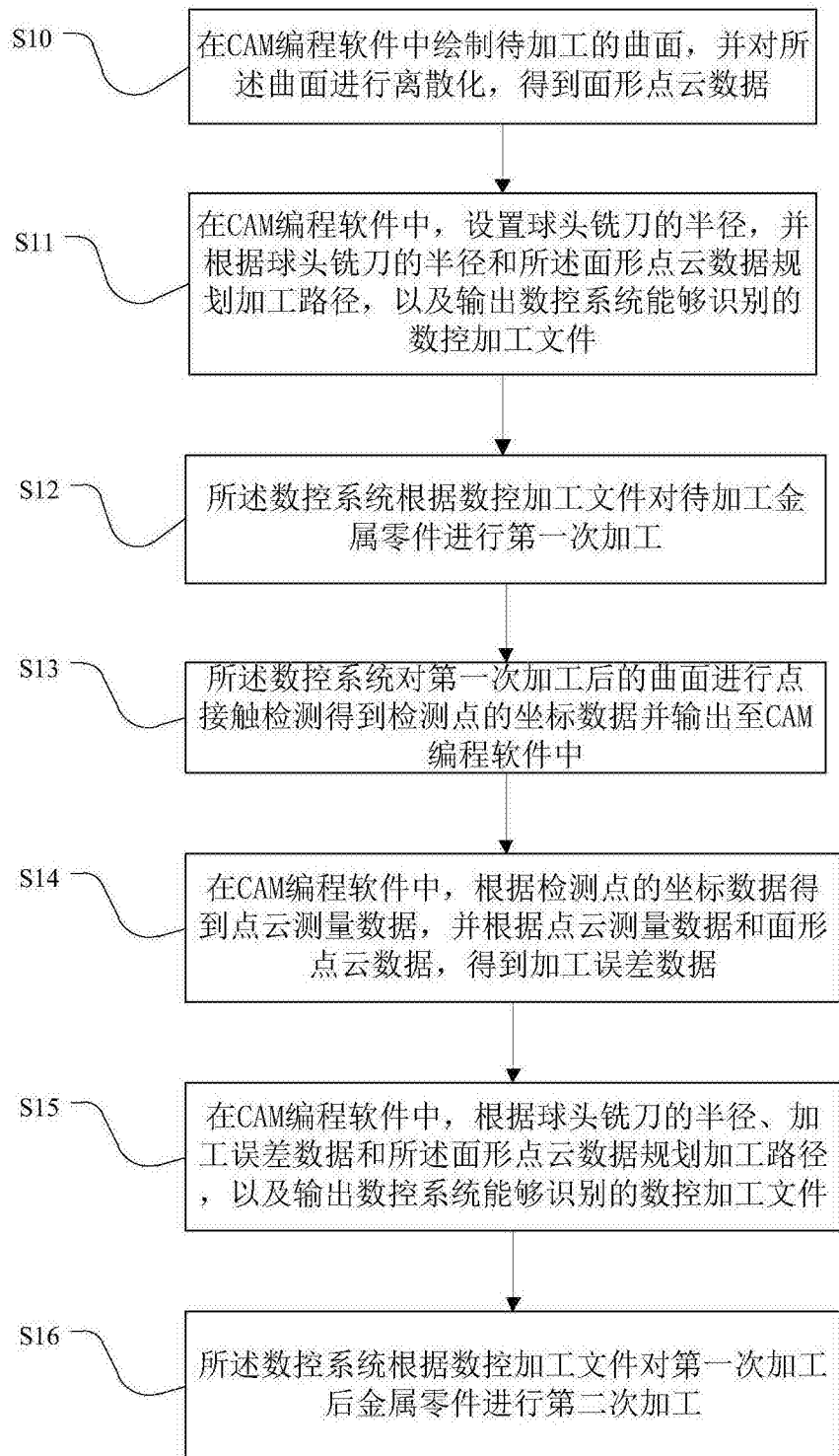


图1

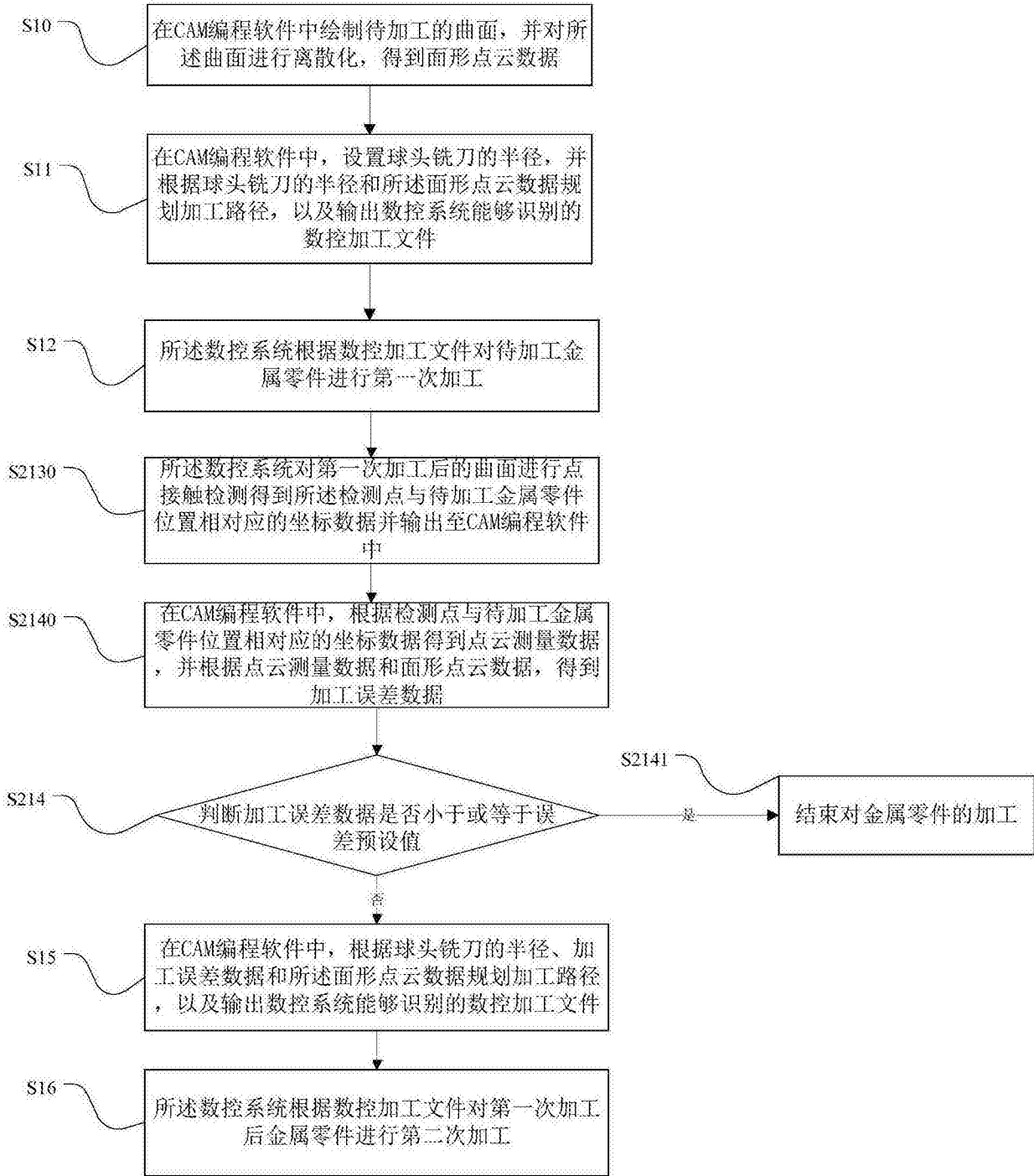


图2

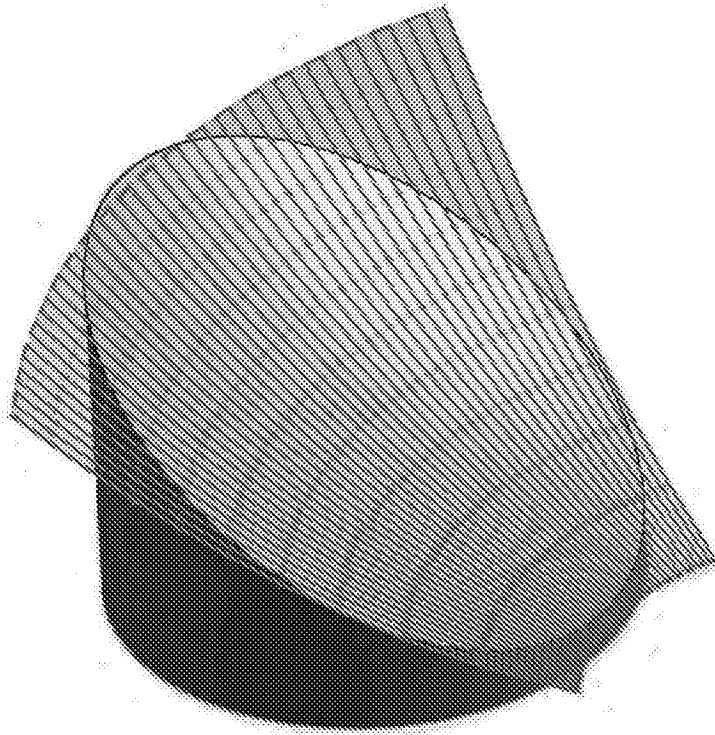


图3

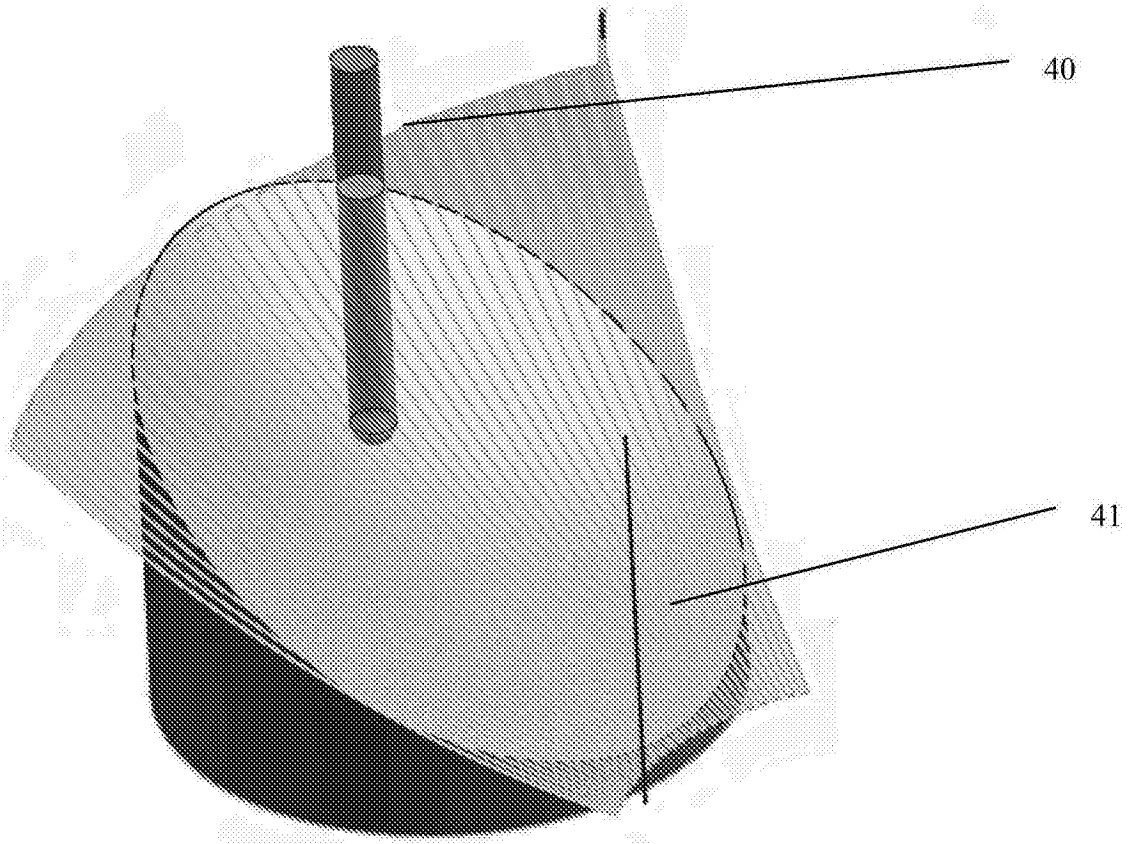


图4