



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107443169 B

(45)授权公告日 2019.04.26

(21)申请号 201710672080.9

B23Q 17/24(2006.01)

(22)申请日 2017.08.08

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107443169 A

CN 103050427 A, 2013.04.17,
CN 103753353 A, 2014.04.30,
CN 106346058 A, 2017.01.25,
CN 102350655 A, 2012.02.15,
CN 204234843 U, 2015.04.01,

(43)申请公布日 2017.12.08

(73)专利权人 哈尔滨工业大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

审查员 宋浩

(72)发明人 张翔 潘旭东 李跃峰 王广林
周栋

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109

代理人 岳昕

(51)Int.Cl.

B23Q 17/09(2006.01)

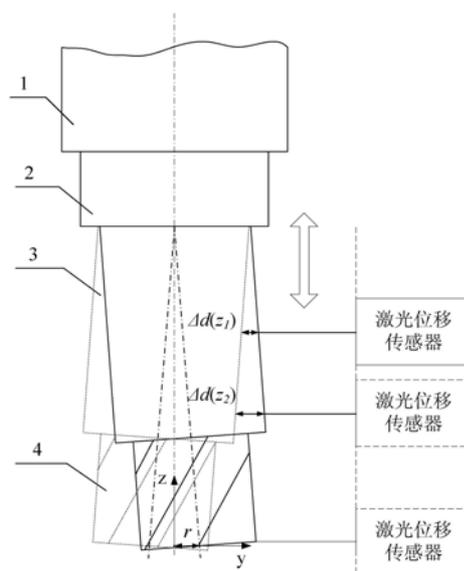
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法

(57)摘要

一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法,涉及精密/超精密加工领域。本发明是为了解决现有的刀具偏心参数测量方法算法复杂,效率及精度难以兼顾,且不适用于介观尺度铣削刀具的偏心参数识别的问题。本发明所述的一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法,首先对激光位移传感器的光束进行校准,然后测量偏心量,获取相邻两个切削刃的实际切削半径之差,最后获取刀具偏心角。本发明基于求解非线性方程,测量效率和精度均大大提高。本发明适用于机械加工领域中介观尺度铣削刀具偏心参数的识别。



1. 一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法, 首先, 以主轴(1)回转中心 O_s 为原点, 主轴(1)的轴线与Z轴重合, 建立空间直角坐标系, 其特征在于,

所述方法包括以下步骤:

激光位移传感器光束校准步骤:

一、将激光位移传感器设置在y轴上, 使得激光位移传感器射出的激光与主轴相交并垂直, 且激光光束中心能够射到刀柄(3)表面,

二、将刀柄(3)沿x轴方向移动, 当激光位移传感器读数最小时, 将此时激光光束中心与刀柄(3)表面交点作为参考点, 并记录该参考点在x轴上所对应的坐标值 X_1 ,

三、将刀柄(3)以主轴为转轴旋转 180° , 将激光位移传感器沿x轴方向移动, 当激光位移传感器读数最小时, 记录参考点在x轴上所对应的坐标值 X_2 ,

四、将刀柄(3)沿x轴移动, 使得参考点与x轴上坐标值为 $(X_1+X_2)/2$ 的坐标点重合;

偏心量测量步骤:

五、保持激光位移传感器的位置不变, 将主轴(1)沿z轴方向移动n次, 每移动一次, 则将刀柄(3)以主轴为转轴旋转 360° , 利用激光位移传感器检测刀柄(3)的位移并记录被检测点与刀尖之间的距离 z_i , 共获得n组传感器读数, 每组传感器读数包括最大读数值 $r(z_i)_{\max}$ 和最小读数值 $r(z_i)_{\min}$, n为大于4的正整数, $i=1, 2, \dots, n$,

六、利用n组传感器读数获得n个刀具偏心分量 $\Delta r(z_i)$,

七、根据下式获得刀具偏心量r:

$$r = \overline{\Delta r(z)} - \frac{\sum_{i=1}^n [\Delta r(z_i) - \overline{\Delta r(z)}]^2}{\sum_{i=1}^n [\Delta r(z_i) - \overline{\Delta r(z)}] (z_i - \bar{z})}$$

$$\text{其中, } \overline{\Delta r(z)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta r(z_i)}{n}, \quad \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n};$$

相邻两个切削刃的实际切削半径之差的获取步骤:

八、设待测介观尺度铣削刀具的切削刃的个数为M, 使激光位移传感器的输出激光射向刀刃(4)任一切削刃的尖端, 将刀刃(4)以主轴为转轴旋转 360° , 分别获得每个切削刃的轮廓峰值 $\text{peak}(k)$, $k=1, 2, \dots, M$, 且当 $k=M$ 时, $k+1=1$,

九、根据下式获得相邻两个切削刃的实际切削半径之差:

$$\Delta R(k) = R(k) - R(k+1) = \text{peak}(k) - \text{peak}(k+1);$$

刀具偏心角 θ 获取步骤:

十、将相邻两个切削刃的实际切削半径之差 $\Delta R(k)$ 和刀具偏心量r代入下式, 获得刀具偏心角 θ :

$$\Delta R(k) = R(k) - R(k+1) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi(k-1)}{M} - \theta\right) \right]^{-0.5} - \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi k}{M} - \theta\right) \right]^{-0.5}$$

其中, R为刀具半径。

2. 根据权利要求1所述的一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法, 其特征在于, 利用下式获得n个刀具偏心分量 $\Delta r(z_i)$:

$$\Delta r(z_i) = [r(z_i)_{\max} - r(z_i)_{\min}] / 2。$$

3. 根据权利要求1所述的一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法,其特征在于,激光位移传感器为基恩士激光位移传感器LK-G150,其分辨率为 $0.1\mu\text{m}$,重复精度为 $0.5\mu\text{m}$ 。

一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法

技术领域

[0001] 本发明属于精密/超精密加工领域,尤其涉及刀具偏心参数识别技术。

背景技术

[0002] 对于介观尺度(或称为中间尺度)的定义,在机械加工领域一般指介乎于宏观尺度和微观尺度之间,几何特征尺寸为 $0.01\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 的尺度范围。介观尺度铣削中,由于每齿进给量很小($0.1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$),即使刀具的偏心量($0\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$)不及常规尺度铣削,仍足以对切削刃轨迹产生重大影响,进而影响到瞬时切削厚度、切削力、刀具寿命和机床的动态特性等。甚至可能出现只有一个切削刃实际参与切削,另一切削刃轨迹始终落后,没有实际参与切削的单齿切削现象。因此,为改善介观尺度铣削加工工艺,提高介观尺度铣削刀具寿命,对于刀具偏心参数的准确识别至关重要。

[0003] 现有的刀具偏心参数测量方法基本全部基于铣削力预测模型。通过建立铣削力预测模型,将刀具偏心参数体现到铣削力模型中的瞬时切削厚度中。再测量实际铣削力情况,通过迭代算法求解刀具偏心参数。但是,铣削力预测模型算法复杂,刀具偏心参数效率及精度难以兼顾,并且不适用于介观尺度铣削刀具的偏心参数识别。

发明内容

[0004] 本发明是为了解决现有的刀具偏心参数测量方法算法复杂,效率及精度难以兼顾,且不适用于介观尺度铣削刀具的偏心参数识别的问题,现提供一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法。

[0005] 一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法,首先,以主轴回转中心 O_s 为原点,主轴1为z轴,建立空间直角坐标系,所述方法包括以下步骤:

[0006] 激光位移传感器光束校准步骤:

[0007] 一、将激光位移传感器设置在y轴上,使得激光位移传感器射出的激光与主轴相交并垂直,且激光光束中心能够射到刀柄3表面,

[0008] 二、将刀柄3沿x轴方向移动,当激光位移传感器读数最小时,将此时激光光束中心与刀柄3表面交点作为参考点,并记录该参考点在x轴上所对应的坐标值 X_1 ,

[0009] 三、将刀柄3以主轴为转轴旋转 180° ,将激光位移传感器沿x轴方向移动,当激光位移传感器读数最小时,记录参考点在x轴上所对应的坐标值 X_2 ,

[0010] 四、将刀柄3沿x轴移动,使得参考点与x轴上坐标值为 $(X_1+X_2)/2$ 的坐标点重合;

[0011] 偏心量r测量步骤:

[0012] 五、保持激光位移传感器的位置不变,将主轴1沿z轴方向移动n次,每移动一次,则将刀柄3以主轴为转轴旋转 360° ,利用激光位移传感器检测刀柄3的位移并记录被检测点与刀尖之间的距离 z_i ,共获得n组传感器读数,每组传感器读数包括最大读数值 $r(z_i)_{\max}$ 和最小读数值 $r(z_i)_{\min}$,n为大于4的正整数, $i=1,2,\dots,n$,

[0013] 六、利用n组传感器读数获得n个刀具偏心分量 $\Delta r(z_i)$,

[0014] 七、根据下式获得刀具偏心量 r ：

$$r = \frac{\overline{\Delta r(z)} - \frac{z \sum_{i=1}^n [\Delta r(z_i) - \overline{\Delta r(z)}]^2}{\sum_{i=1}^n [\Delta r(z_i) - \overline{\Delta r(z)}] (z_i - \bar{z})}}{\overline{\Delta r(z)} - \frac{\sum_{i=1}^n \Delta r(z_i)}{n}}$$

$$\text{其中, } \overline{\Delta r(z)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta r(z_i)}{n}, \quad \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n};$$

[0017] 相邻两个切削刃的实际切削半径之差的获取步骤：

[0018] 八、设待测介观尺度铣削刀具的切削刃的个数为 M ，使激光位移传感器的输出激光射向刀刃4任一切削刃的尖端，将刀刃4以主轴为转轴旋转 360° ，分别获得每个切削刃的轮廓峰值 $\text{peak}(k)$ ， $k=1, 2, \dots, M$ ，且当 $k=M$ 时， $k+1=1$ ，

[0019] 九、根据下式获得相邻两个切削刃的实际切削半径之差：

$$[0020] \quad \Delta R(k) = R(k) - R(k+1) = \text{peak}(k) - \text{peak}(k+1);$$

[0021] 刀具偏心角 θ 获取步骤：

[0022] 十、将相邻两个切削刃的实际切削半径之差 $\Delta R(k)$ 和刀具偏心量 r 代入下式，获得刀具偏心角 θ ：

$$[0023] \quad \Delta R(k) = R(k) - R(k+1) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi(k-1)}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} - \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi k}{M} - \theta\right) \right]^{0.5}$$

[0024] 其中， R 为刀具半径。

[0025] 本发明所述的一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法，基于求解非线性方程，测量效率和精度均大大提高。刀具偏心量测量可精确至 $0.01\mu\text{m}$ ，刀具偏心角可精确至 0.01° 。本发明适用于机械加工领域中介观尺度铣削刀具偏心参数的识别。

附图说明

[0026] 图1为刀具的偏心参数示意图，其中(a)表示夹头夹持刀具时的示意图，(b)表示刀刃的端面示意图；

[0027] 图2为激光位移传感器光束校准示意图，图中3表示刀柄，图示为刀柄的横截面；

[0028] 图3为激光位移传感器测量偏心量示意图，图中1表示主轴，2表示刀具夹头，3表示刀柄，4表示刀刃。

具体实施方式

[0029] 刀具的偏心是指由于刀具的制造误差和安装误差所引起的总偏心。如图1所示，主轴对应于在刀刃端面的点 O_s 为主轴回转中心，刀具轴对应于在刀刃端面的点 O_t 为刀具中心，刀具中心与切削刃尖端之间的距离 R 为刀具半径；以主轴回转中心 O_s 为原点，刀具中心 O_t 与主轴回转中心 O_s 之间的距离 r 为刀具偏心量，刀具中心 O_t 与主轴回转中心 O_s 的连线为回转中心连线；将刀刃上任一切削刃尖端与刀具中心 O_t 连线，定义为切削刃连线；建立空间直角坐标系，设主轴方向为 z 轴， x 轴与 y 轴位于同一平面并同时与 z 轴相互垂直。

[0030] 当切削刃连线与 y 轴正方向一致时（该切削刃定义为第1个切削刃），回转中心连线与切削刃连线的逆时针夹角 θ 则为刀具偏心角。

[0031] 设刀刃上第k个切削刃的实际切削半径R(k)为:

$$[0032] \quad R(k) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi(k-1)}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} \quad (1)$$

[0033] 其中,M为刀具上切削刃的总个数, $k=1,2,\dots,M$,且当 $k=M$ 时, $k+1=1$ 。

[0034] 式(1)中有刀具偏心量r和刀具偏心角 θ 两个未知量,即为本发明刀具偏心参数的测量目标。式(1)中第k个切削刃的实际切削半径R(k)难以直接获得。对上式进行变换,定义 $\Delta R(k)$ 为第k个切削刃与第k+1个切削刃的实际切削半径之差,如式(2)所示:

$$[0035] \quad \Delta R(k) = R(k) - R(k+1) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi(k-1)}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} - \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi k}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} \quad (2)$$

[0036] 对于具有3个及3个以上切削刃的介观尺度铣削刀具,通过式(2)可得如下方程组:

$$[0037] \quad \begin{cases} \Delta R(1) = R(1) - R(2) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\theta \right]^{0.5} - \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} \\ \Delta R(2) = R(2) - R(3) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} - \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{4\pi}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} \\ \vdots \\ \Delta R(M) = R(M) - R(1) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi(M-1)}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} - \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\theta \right]^{0.5} \end{cases} \quad (3)$$

[0038] 式(3)中包含2个未知量,则可直接通过解方程组方式直接求解。但是,对于具有两个切削刃的介观尺度铣削刀具,通过式(2)可得如下方程:

$$[0039] \quad \Delta R(1) = -\Delta R(2) = R(1) - R(2) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\theta \right]^{0.5} - \left[R^2 + r^2 - 2Rr \cos\theta \right]^{0.5} \quad (4)$$

[0040] 通过式(4)则无法直接解得刀具偏心量r和刀具偏心角 θ 两个未知量。

[0041] 为了解决上述问题,利用以下实施方式进行解决。

[0042] 具体实施方式一:参照图2和图3具体说明本实施方式,本实施方式所述的一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法,首先,以主轴回转中心 O_s 为原点,主轴1为z轴,建立空间直角坐标系,所述方法包括以下步骤:

[0043] 激光位移传感器光束校准步骤:

[0044] 一、将激光位移传感器设置在y轴上,使得激光位移传感器射出的激光与主轴相交并垂直,且激光光束中心能够射到刀柄3表面,

[0045] 二、将刀柄3沿x轴方向移动,当激光位移传感器读数最小时,将此时激光光束中心与刀柄3表面交点作为参考点,并记录该参考点在x轴上所对应的坐标值 X_1 ,

[0046] 三、将刀柄3以主轴为转轴旋转 180° ,将激光位移传感器沿x轴方向移动,当激光位移传感器读数最小时,记录参考点在x轴上所对应的坐标值 X_2 ,

[0047] 四、将刀柄3沿x轴移动,使得参考点与x轴上坐标值为 $(X_1+X_2)/2$ 的坐标点重合;

[0048] 偏心量测量步骤:

[0049] 五、保持激光位移传感器的位置不变,将主轴1沿z轴方向移动n次,每移动一次,则将刀柄3以主轴为转轴旋转 360° ,利用激光位移传感器检测刀柄3的位移并记录被检测点与刀尖之间的距离 z_i ,共获得n组传感器读数,每组传感器读数包括最大读数值 $r(z_i)_{\max}$ 和最小读数值 $r(z_i)_{\min}$,n为大于4的正整数, $i=1,2,\dots,n$,

[0050] 六、利用n组传感器读数获得n个刀具偏心分量 $\Delta r(z_i)$,

[0051] 七、根据下式获得刀具偏心量r:

$$[0052] \quad r = \overline{\Delta r(z)} - \frac{\overline{z} \sum_{i=1}^n [\Delta r(z_i) - \overline{\Delta r(z)}]^2}{\sum_{i=1}^n [\Delta r(z_i) - \overline{\Delta r(z)}] (z_i - \overline{z})}$$

$$[0053] \quad \text{其中, } \overline{\Delta r(z)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta r(z_i)}{n}, \quad \overline{z} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n};$$

[0054] 相邻两个切削刃的实际切削半径之差的获取步骤:

[0055] 八、设待测介观尺度铣削刀具的切削刃的个数为M,使激光位移传感器的输出激光射向刀刃4任一切削刃的尖端,将刀刃4以主轴为转轴旋转360°,分别获得每个切削刃的轮廓峰值peak(k),

[0056] 九、根据下式获得相邻两个切削刃的实际切削半径之差 $\Delta R(k)$:

$$[0057] \quad \Delta R(k) = R(k) - R(k+1) = \text{peak}(k) - \text{peak}(k+1);$$

[0058] 刀具偏心角 θ 获取步骤:

[0059] 十、将相邻两个切削刃的实际切削半径之差 $\Delta R(k)$ 和刀具偏心量r代入下式,获得刀具偏心角 θ :

$$[0060] \quad \Delta R(k) = R(k) - R(k+1) = \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi(k-1)}{M} - \theta\right) \right]^{0.5} - \left[R^2 + r^2 + 2Rr \cos\left(\frac{2\pi k}{M} - \theta\right) \right]^{0.5}。$$

[0061] 空间直角坐标系是以空间一点O为原点,建立的三条两两垂直的数轴:x轴、y轴、z轴。本实施方式中,由于已经限定了原点和z轴,那么x轴和y轴自然就能够获得,即x轴和y轴共面其该面垂直于z轴。

[0062] 本实施方式在计算刀具偏心量r时,理论上通过两组不同轴向位置的刀具偏心分量即可解得刀具偏心量。但是,由于本实施方式属于线形模型,根据线形模型的最小二乘估计原理,应使观测次数大于被估计参数的个数,因此设定n为大于4的正整数。

[0063] 具体实施方式二:本实施方式是对具体实施方式一所述的一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法作进一步说明,本实施方式中,

[0064] 利用下式获得n个刀具偏心分量 $\Delta r(z_i)$:

$$[0065] \quad \Delta r(z_i) = [r(z_i)_{\max} - r(z_i)_{\min}] / 2。$$

[0066] 具体实施方式三:本实施方式是对具体实施方式一或二所述的一种介观尺度铣削刀具偏心参数识别方法作进一步说明,本实施方式中,激光位移传感器为基恩士激光位移传感器LK-G150,其分辨率为0.1 μm ,重复精度为0.5 μm 。

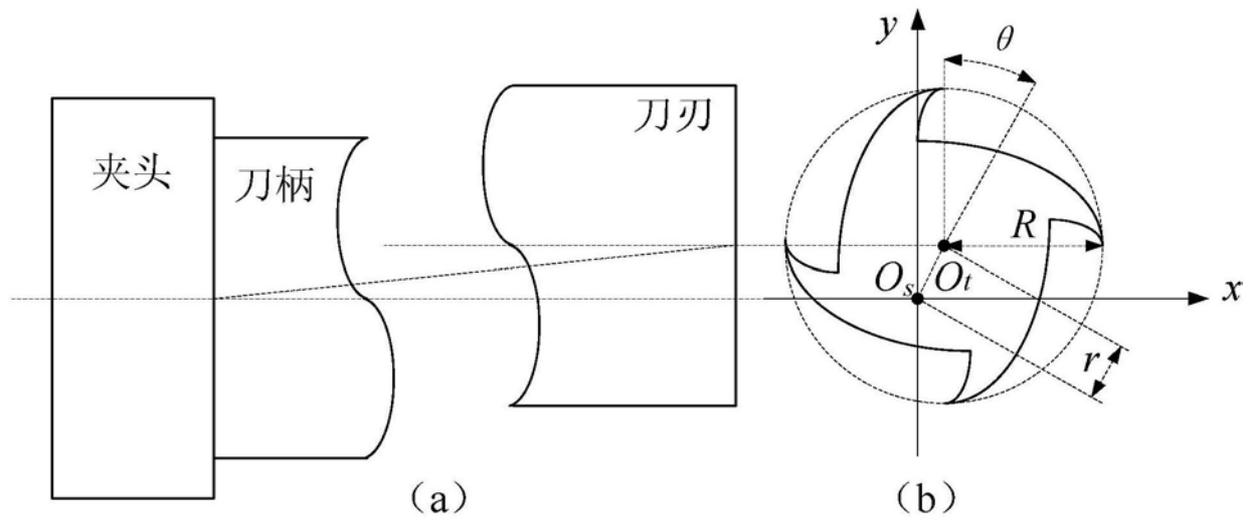


图1

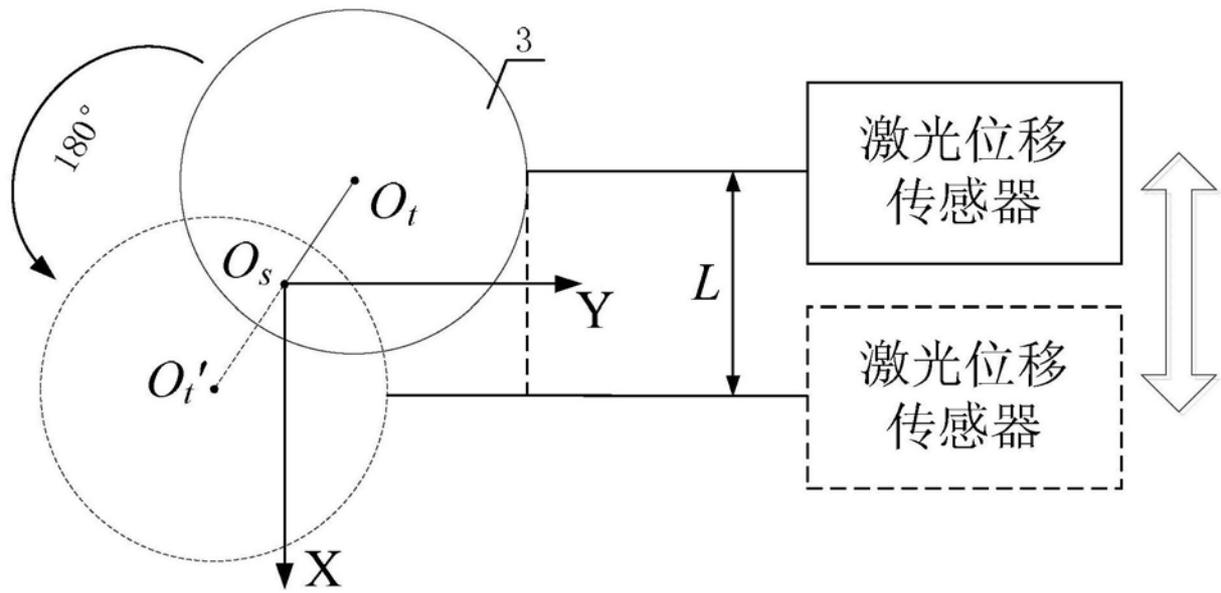


图2

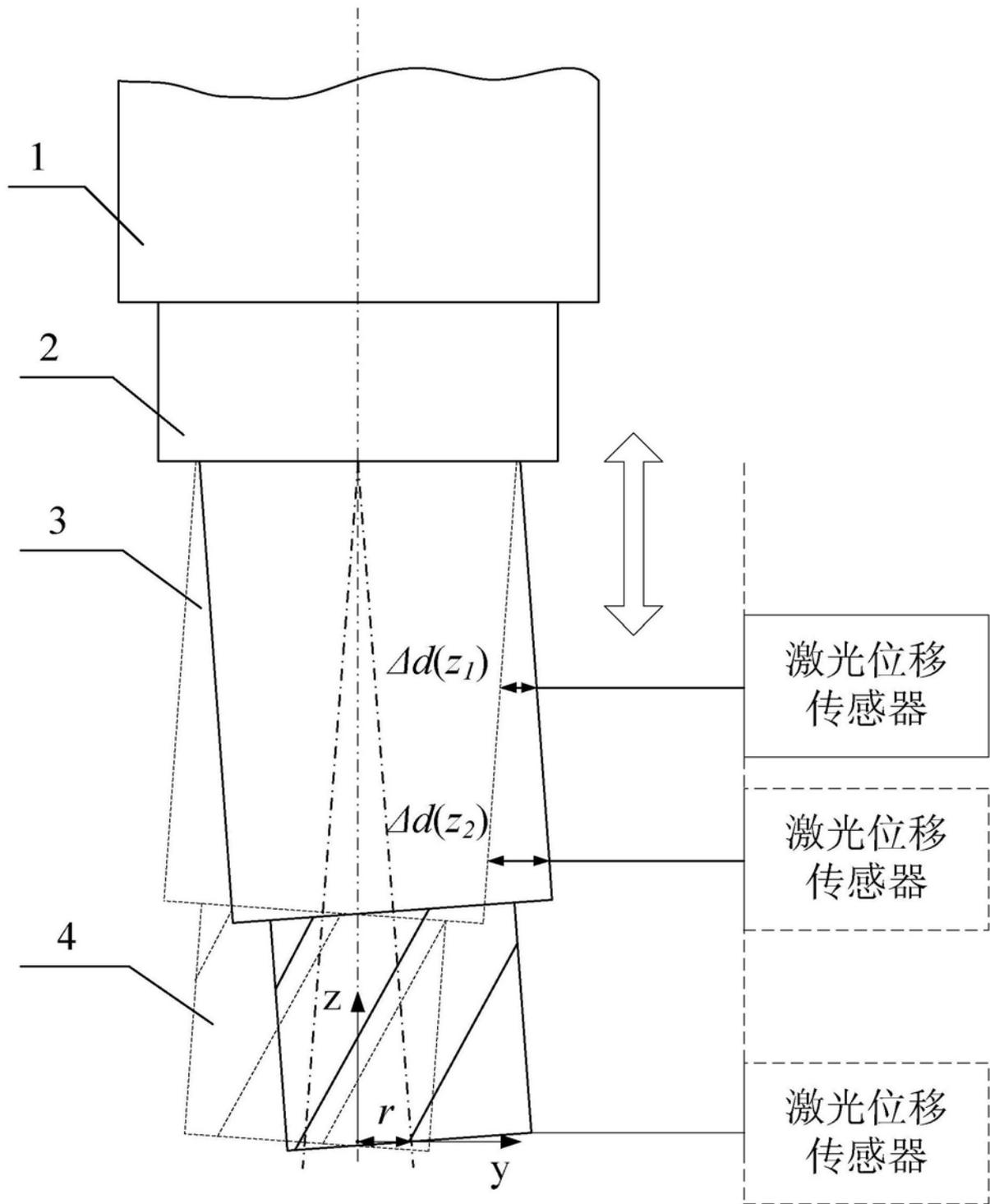


图3