



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105158098 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 16

(21) 申请号 201510532672. 1

(22) 申请日 2015. 08. 26

(71) 申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市御道街 29 号

(72) 发明人 丁文锋 戴晨伟 徐九华 朱烨均

傅玉灿 苏宏华 杨长勇

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 曹翠珍

(51) Int. Cl.

G01N 3/56(2006. 01)

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台及其试验方法

(57) 摘要

本发明公开了一种磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台及其试验方法,试验平台包括磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削砂轮和声发射测量系统;在磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削砂轮上布置带有磨粒的节块,并对称地布置不带有磨粒的平衡节块;在钎焊时,磨粒与芯轴顶端磨粒钎焊平台接触;所述声发射传感器、功率放大器、数据采集卡和计算机构成声发射测量系统;本申请可以约束磨粒位姿及切削形态,监测磨削过程,为进一步研究磨削中的材料去除机理和磨粒磨损情况提供技术支持。

1. 一种磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台,其特征在于包括磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削砂轮和声发射测量系统;

在磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削砂轮上布置带有磨粒的节块,并对称地布置不带有磨粒的平衡节块;

节块由压盖、芯轴、底块组成,芯轴通过 90° 的圆锥面定位,并由芯轴顶紧螺钉紧固在节块的阶梯孔上。

2. 根据权利要求 1 所述的磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台,其特征在于在芯轴顶端设有磨粒钎焊平台;芯轴紧固之前,可以围绕节块母体的阶梯孔旋转,控制磨粒位姿;在钎焊时,磨粒与芯轴顶端磨粒钎焊平台接触。

3. 根据权利要求 1 所述的磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台,其特征在于在基体上安装节块的部位设置安装槽,节块置于该安装槽内,并借助螺栓将节块径向顶紧、轴向压紧;节块装配件整个通过节块顶紧螺钉紧固在砂轮基体上。

4. 根据权利要求 1 所述的磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台,其特征在于所述的声发射测量系统包括依次连接的声发射传感器、功率放大器、数据采集卡和计算机,其中声发射传感设置在工件上。

5. 根据权利要求 1 所述的磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台,其特征在于所述的磨粒位姿可控是单颗磨削砂轮以①单个 (111) 晶面为前刀面, (100) 晶面为后刀面;②两个 (111) 晶面为前刀面, (100) 晶面为后刀面;③单个 (111) 晶面和两个 (100) 晶面为前刀面, (111) 晶面为后刀面;④单个 (100) 晶面和两个 (111) 晶面为前刀面, (111) 晶面为后刀面与芯轴顶端磨粒钎焊平台接触。

6. 基于权利要求 1 所述的磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台的试验方法,其特征在于步骤如下:

(1) 磨削前,在光学显微镜下调节所需的磨粒位姿,并将节块装配件安装至砂轮基体上;将声发射传感器磁力吸附在工件上,通过数据线将声发射传感器、功率放大器、数据采集卡和计算机依次连接;在钎焊前将磨粒与芯轴顶端的磨粒钎焊平台接触;

(2) 根据式 (I) 计算得到单颗磨粒最大未变形切削厚度

$$a_{g\max} = 2\lambda \frac{v_w}{v_s} \sqrt{\frac{a_p}{d_s}} \quad (I);$$

其中, $a_{g\max}$ 是单颗磨粒最大未变形切削厚度; λ 是砂轮圆周方向的磨粒间距,在本发明中即为砂轮外圆周长; v_w 是工件进给速度; v_s 是磨削速度; a_p 是磨削深度; d_s 是砂轮外圆直径;

根据式 (I) 推导出式 (IV), 计算需要设定的进给速度 v_w ,

$$v_w = \frac{a_{g\max} v_s}{2\lambda} \sqrt{\frac{d_s}{a_p}} = \frac{a_{g\max} v_s}{2\pi \sqrt{a_p d_s}} \quad (IV);$$

(3) 磨削时,设定进给速度 v_w ,磨粒在工件表面形成一条笔直的沟痕,设定采样频率,间隔采集声发射信号,直至磨粒失效,可以获取磨粒磨损各个阶段的声发射信号;

(4) 磨削后,采用小波分析方法,提取单颗磨粒磨削的特征信号,分析磨损过程,获取临界成屑厚度、磨削比能;分析单个弧区内的声发射信号,确定切削阶段发生的时刻 t_c ,根据

式(II)就计算出临界成屑厚度 a_{\min} ,通过信号有效电压值 AE_{rms} 的变化分析磨粒是否磨损,根据(式III)计算得到磨削比能 e_s ;

$$a_{\min} = a_{g\max} \frac{t_o - t_i}{t_c - t_i} \quad (\text{II})$$

$$e_s = \frac{e_g}{V_g} = \frac{2e_g}{d_g a_{g\max} \sqrt{a_p d_s}} \quad (\text{III})$$

其中, a_{\min} 是临界成屑厚度; $a_{g\max}$ 是单颗磨粒最大未变形切削厚度; t_i 是磨粒切入工件的时间; t_o 是切出工件的时间; t_c 是切削阶段发生的时间; e_g 是 $t_c \sim t_o$ 包络线下方的面积,即为单颗磨粒磨削去除材料的能量;磨削比能 e_s 是能量 e_g 与单颗磨粒去除体积的比值; V_g 是单颗磨粒去除的材料体积; d_g 是磨粒直径; a_p 是磨削深度; d_s 是砂轮外圆直径。

一种磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台及其试验方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及磨削领域，具体涉及一种磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台。

背景技术：

[0002] 单颗磨粒磨削是认识磨削过程的重要手段，通过对单颗磨粒的磨削规律的研究，能很好地认识材料的磨削机理。单颗磨粒磨削能在相似的磨削加工过程中不受到其他磨粒的影响，可以应用较大的载荷，并且放大磨削的程度，从而得到单颗磨粒磨削过程中存在的现象和规律。研究单颗磨粒磨削过程对分析磨削过程中的力、温度，材料的成屑及砂轮地貌对工件加工表面质量的影响具有重要的指导意义，为磨削过程控制提供依据。为了模拟单颗磨粒切除材料的过程，由此产生了单颗磨粒磨削试验。上世纪八十年代开始，众多学者不断开发和改进单颗磨粒实验装置，但是很少有人将磨粒的位姿作为磨粒切除材料过程中的影响因素，相应的控制磨粒位姿的装置也较少。

[0003] 磨粒状态（包括位姿）是影响磨削过程中材料临界成屑厚度的重要影响因素。因此，磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验对于研究磨削过程中的尺寸效应、磨痕形态、切屑变形过程、磨粒磨损过程等一系列基础性问题都具有重要现实意义。

[0004] 从金属切削原理的相关知识可知，刀具的前角、后角等几何参数对切削过程中的切削力、切削热及刀具磨损有显著影响，单颗磨粒磨削试验中的磨粒即是扮演着一种微型刀具的角色。目前，单颗磨粒磨削试验所用的磨粒主要是立方氮化硼和金刚石，并且磨粒多是毫无规则的随机排布，忽略了磨粒的切削刃状态（即磨粒位姿）对磨削过程的影响。然而，在实际磨削过程中，磨粒的切削刃状态对磨削中的材料去除机理和磨粒磨损情况均有显著影响，具体包括参与磨削的切削刃数量、磨粒的前后角、磨粒的晶面特性等。因此，有必要对磨粒的位姿进行控制，为深入研究磨削机理提供技术支持。

[0005] 常用的超硬磨料中，金刚石的形状较为规则统一，相对容易实现磨粒位姿的有效控制。选用粒度为 35/40 目的人造金刚石，在三维视频显微镜下观测，其结构特征大多为相关文献中所述正八面体缺六角形成的六-八面体，如图 1 所示。金刚石晶体结构中常见的几个重要面网为 (100) 面网、(110) 面网及 (111) 面网，这三种面网之间距离是不同的，而金刚石的解理现象最容易沿着面网间距最大的晶面发生。金刚石晶体的面网 (111) 间距最大，最容易沿着此面网平行的方向裂开，发生解理破碎。因此，磨削过程中磨削力方向与金刚石磨粒晶面的夹角，对磨粒磨损具有重要影响，即磨粒磨损情况与磨粒的位姿密切相关。此外，金刚石磨粒的位姿决定了参与磨削的切削刃形态，这也导致材料去除过程中磨屑的成屑过程有所差别，形成的磨痕形貌也不尽相同。

发明内容：

[0006] 发明目的：

[0007] 针对以上存在的问题，本发明的目的在于提供一种可以控制磨粒位姿的单颗磨粒磨削试验平台及其试验方法，可以约束磨粒位姿及切削形态，监测磨削过程，为进一步研究

磨削中的材料去除机理和磨粒磨损情况提供技术支持。

[0008] 技术方案：

[0009] 为了达到上述目的，本发明采取了以下技术方案：

[0010] 一种磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台，包括磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削砂轮和声发射测量系统；声发射测量系统包括依次连接的声发射传感器、功率放大器、数据采集卡和计算机，其中声发射传感设置在工件上；

[0011] 在磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削砂轮上布置带有磨粒的节块，并对称地布置不带有磨粒的平衡节块；

[0012] 在砂轮基体上安装节块的部位设置安装槽，节块置于该安装槽内，并借助螺栓将节块径向顶紧、轴向压紧；节块装配件整个通过节块顶紧螺钉紧固在砂轮基体上；

[0013] 节块由压盖、芯轴、底块组成，芯轴通过 90° 的圆锥面定位，并由芯轴顶紧螺钉紧固在节块的阶梯孔上，在芯轴顶端设有磨粒钎焊平台；芯轴紧固之前，围绕节块母体的阶梯孔旋转，控制磨粒位姿；

[0014] 在钎焊时，磨粒与芯轴顶端磨粒钎焊平台接触。

[0015] 一种磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台及其试验方法，步骤如下：

[0016] (1) 磨削前，在光学显微镜下调节所需的磨粒位姿，并将节块装配件安装至砂轮基体上；将声发射传感器磁力吸附在工件上，通过数据线将声发射传感器、功率放大器、数据采集卡和计算机依次连接；在钎焊前将磨粒与芯轴顶端的磨粒钎焊平台接触；

[0017] (2) 根据式 (I) 计算得到单颗磨粒最大未变形切削厚度

$$[0018] \quad a_{g\max} = 2\lambda \frac{v_w}{v_s} \sqrt{\frac{a_p}{d_s}} \quad (I);$$

[0019] 其中， $a_{g\max}$ 是单颗磨粒最大未变形切削厚度； λ 是砂轮圆周方向的磨粒间距，在本发明中即为砂轮外圆周长 πd_s ； v_w 是工件进给速度； v_s 是磨削速度； a_p 是磨削深度； d_s 是砂轮外圆直径；

[0020] 根据式 (I) 推导出式 (IV)，计算需要设定的进给速度 v_w ，

$$[0021] \quad v_w = \frac{a_{g\max} v_s}{2\lambda} \sqrt{\frac{d_s}{a_p}} = \frac{a_{g\max} v_s}{2\pi \sqrt{a_p d_s}} \quad (IV)$$

[0022] (3) 磨削时，设定进给速度 v_w ，磨粒在工件表面形成一条笔直的沟痕，设定采样频率，间隔采集声发射信号，直至磨粒失效，可以获取磨粒磨损各个阶段的声发射信号；

[0023] (4) 磨削后，采用小波分析方法，提取单颗磨粒磨削的特征信号，分析磨损过程，获取临界成屑厚度、磨削比能；分析单个弧区内的声发射信号，确定切削阶段发生的时刻 t_c ，根据式 (II) 就计算出临界成屑厚度 a_{\min} ，根据 (式III) 计算得到磨削比能 e_s ；

$$[0024] \quad a_{\min} = a_{g\max} \frac{t_o - t_i}{t_c - t_i} \quad (II)$$

$$[0025] \quad e_s = \frac{e_g}{V_g} = \frac{2e_g}{d_g a_{g\max} \sqrt{a_p d_s}} \quad (III)$$

[0026] 其中， a_{\min} 是临界成屑厚度； $a_{g\max}$ 是单颗磨粒最大未变形切削厚度； t_i 是磨粒切入

工件的时间； t_0 是切出工件的时间； t_c 是切削阶段发生的时间； e_g 是 $t_c \sim t_0$ 包络线下方的面积，即为单颗磨粒磨削去除材料的能量； e_s 是能量 e_g 与单颗磨粒去除体积的比值，即为磨削比能； V_g 是单颗磨粒去除的材料体积； d_g 是磨粒直径； a_p 是磨削深度； d_s 是砂轮外圆直径。

[0027] 有益效果：

[0028] 1、本发明可以实现单颗磨削砂轮以①单个(111)晶面为前刀面，(100)晶面为后刀面；②两个(111)晶面为前刀面，(100)晶面为后刀面；③单个(111)晶面和两个(100)晶面为前刀面，(111)晶面为后刀面；④单个(100)晶面和两个(111)晶面为前刀面，(111)晶面为后刀面与芯轴顶端磨粒钎焊平台接触。解决了由于磨粒位姿随机排布造成的多次重复试验结果差异较大的问题。通过改变典型的磨粒切削刃状态，可以方便获取不同单颗磨粒切削厚度的磨痕、磨屑，通过对其微观形貌的研究，为优选磨粒位姿提供试验支持。

[0029] 2、本发明与声发射传感器配套使用，利用小波分析处理方法，可以准确测量不同难加工材料（如钛合金、高温合金）在各个磨削速度、磨粒位姿和钝圆半径下的临界成屑厚度，定量表征磨粒磨损特征，以及材料去除时的磨削比能，为深入研究材料去除机理、优化设计砂轮地貌与磨削用量、控制磨粒切厚分布特征等提供可靠依据。

附图说明：

[0030] 图1是正八面体缺六角形成的六-八面体的金刚石示意图；

[0031] 图2是半幅磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验砂轮示意图；

[0032] 图3是节块装配示意图；

[0033] 图4是可以控制的四种典型磨粒位姿；

[0034] 图5是磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台示意图；

[0035] 图6是小波分析处理后单颗磨粒磨削弧区的声发射信号示意图。

[0036] 图中：1、砂轮基体；2、芯轴；3、芯轴顶紧螺钉；4、节块；5、节块顶紧螺钉；7、工件；8、声发射传感器；9、功率放大器；10、数据采集卡；11、计算机。

具体实施方式：

[0037] 下面结合附图和具体实例对本发明进一步说明：

[0038] 实施例1

[0039] 图1是正八面体缺六角形成的六-八面体的金刚石示意图，图2为磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验砂轮总体示意图，图3是节块装配示意图。

[0040] 所述磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削砂轮，是在单颗磨粒磨削试验砂轮的砂轮基体1上呈圆心对称地布置两个节块4，两个节块中只有一个有磨粒，另一个对称布置的节块是作为平衡节块；在砂轮基体上安装节块的部位设置安装槽，节块置于该安装槽内，并借助螺栓将节块径向顶紧、轴向压紧；节块装配件（包括节块，顶紧或压紧的螺栓）整个通过节块顶紧螺钉5紧固在砂轮基体1上，可快速装卸，方便进行大量试验和快速观察磨粒形貌。

[0041] 节块由压盖、芯轴2、底块组成，芯轴2通过90°的圆锥面定位，并由芯轴顶紧螺钉3紧固在节块4的阶梯孔上，在芯轴顶端设有Φ2mm的磨粒钎焊平台，用于钎焊磨粒；芯轴紧固之前，围绕节块的阶梯孔旋转，控制磨粒位姿。图4是可以控制的四种典型磨粒位姿。通过光学显微镜放大观察磨粒位姿，并用扳手旋转芯轴，可以控制金刚石磨粒处于图4所

示的位姿状态,拧紧芯轴紧固螺钉。单颗磨削砂轮可以实现以①单个(111)晶面为前刀面,(100)晶面为后刀面;②两个(111)晶面为前刀面,(100)晶面为后刀面;③单个(111)晶面和两个(100)晶面为前刀面,(111)晶面为后刀面;④单个(100)晶面和两个(111)晶面为前刀面,(111)晶面为后刀面。

[0042] 在该实施例中,磨粒为金刚石,粒度为35/40目,在钎焊前以(100)晶面或(111)晶面与芯轴顶端的磨粒钎焊平台接触,圆柱面1承载磨粒滑擦工件时受到的切向力。

[0043] 图5是磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台示意图。磨削前,在光学显微镜下调节所需的磨粒位姿,并将节块装配件安装至砂轮基体1上。将声发射传感器8磁力吸附在工件7上,通过数据线将声发射传感器8、功率放大器9、数据采集卡10和计算机11依次连接。

[0044] 根据单颗磨粒最大切削厚度计算公(I)可以推导出进给速度为式(IV);确定单颗磨粒最大未变形切削厚度 $a_{g\max} = 1 \mu\text{m}$,磨削速度 $v_s = 100\text{m/s}$,砂轮外圆直径 $d_s = 400\text{mm}$,单颗磨粒磨削试验的磨削深度 $a_p = 10 \mu\text{m}$,不超过磨粒出露高度的2/3,代入式(IV)计算需要设定的进给速度 v_w 。

$$[0045] \quad a_{g\max} = 2\lambda \frac{v_w}{v_s} \sqrt{\frac{a_p}{d_s}} \quad (\text{I});$$

[0046] 式(I)中, $a_{g\max}$ 是单颗磨粒最大未变形切削厚度; λ 是砂轮圆周方向的磨粒间距(在本发明中即为砂轮外圆周长 πd_s); v_w 是工件进给速度; v_s 是磨削速度; a_p 是磨削深度; d_s 是砂轮外圆直径。

$$[0047] \quad v_w = \frac{a_{g\max} v_s}{2\lambda} \sqrt{\frac{d_s}{a_p}} = \frac{a_{g\max} v_s}{2\pi \sqrt{a_p d_s}} = \frac{1\mu\text{m} \times 100\text{m/s}}{2 \times \pi \times \sqrt{10\mu\text{m} \times 400\text{mm}}} \\ = \frac{10^{-3} \times 100}{2 \times \pi \times \sqrt{0.01 \times 400}} \times 1000 \times 60\text{mm/min} = 477.5\text{mm/min} \quad (\text{IV})$$

[0048] 经计算,设定进给速度 v_w 为477.5mm/min,设置采样频率为300KHz。磨削时,磨粒在工件表面形成一条笔直的沟痕,每隔5mm采集声发射信号,时长3s,直至磨粒失效。

[0049] 图6是小波分析处理后单颗磨粒磨削弧区的声发射信号示意图。 t_i 时刻,磨粒进入弧区,切入工件, t_o 时刻切出工件,磨粒在单个磨削弧区的时长为 $t_o - t_i = 20 \mu\text{s}$ 。分析单个弧区内的声发射信号,确定切削阶段发生的时刻 t_c ,获得滑擦/耕犁阶段的时间 $t_c - t_i = 10.4 \mu\text{s}$,根据式(II)就可以计算出临界成屑厚度 $a_{\min} = 0.52 \mu\text{m}$,图中 $t_c \sim t_o$ 时刻包络线下方的面积即为单颗磨粒磨削去除材料的能量 e_g ,能量 e_g 与单颗磨粒去除体积的比值即为磨削比能 e_s (式III),其中 d_g 为磨粒直径。

$$[0050] \quad a_{\min} = a_{g\max} \frac{t_c - t_i}{t_o - t_i} \quad (\text{II})$$

$$[0051] \quad e_s = \frac{e_g}{V_g} = \frac{2e_g}{d_g a_{g\max} \sqrt{a_p d_s}} \quad (\text{III})$$

[0052] 采用matlab积分计算单颗磨粒磨削去除材料的能量 $e_g = 1.056 \times 10^{-3} \text{v}^2 \cdot \text{s}$,金刚石磨粒的粒径 $d_g = 450 \mu\text{m}$,单颗磨粒最大未变形切削厚度 $a_{g\max} = 1 \mu\text{m}$,磨削深度 $a_p =$

10 μm , 砂轮外圆直径 $d_s = 400\text{mm}$, 代入式 (III) 计算磨削比能 $e_s = 2.35v^2 \cdot s \cdot \text{mm}^3$ 。

[0053] 本发明一种磨粒位姿可控的单颗磨粒磨削试验平台, 可以控制单颗金刚石磨削的磨粒位姿, 与声发射检测系统结合, 结构简单, 操作方便, 能够准确分析磨削过程。

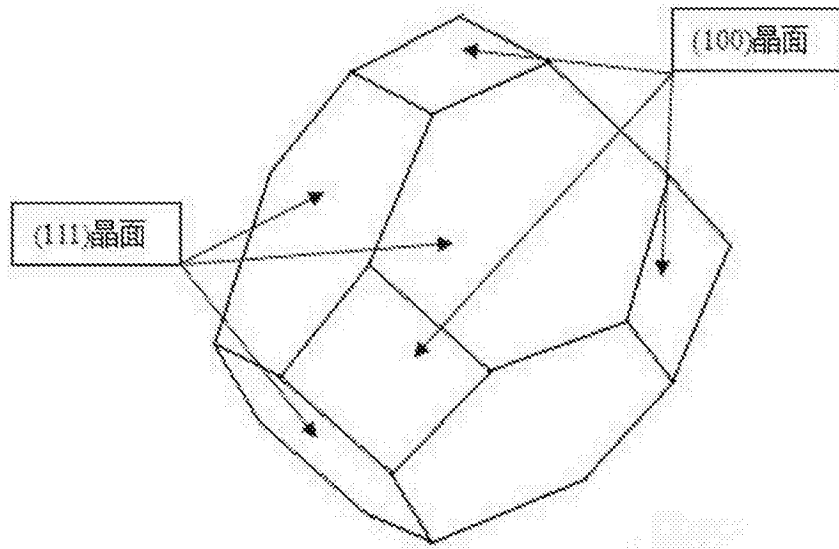


图 1

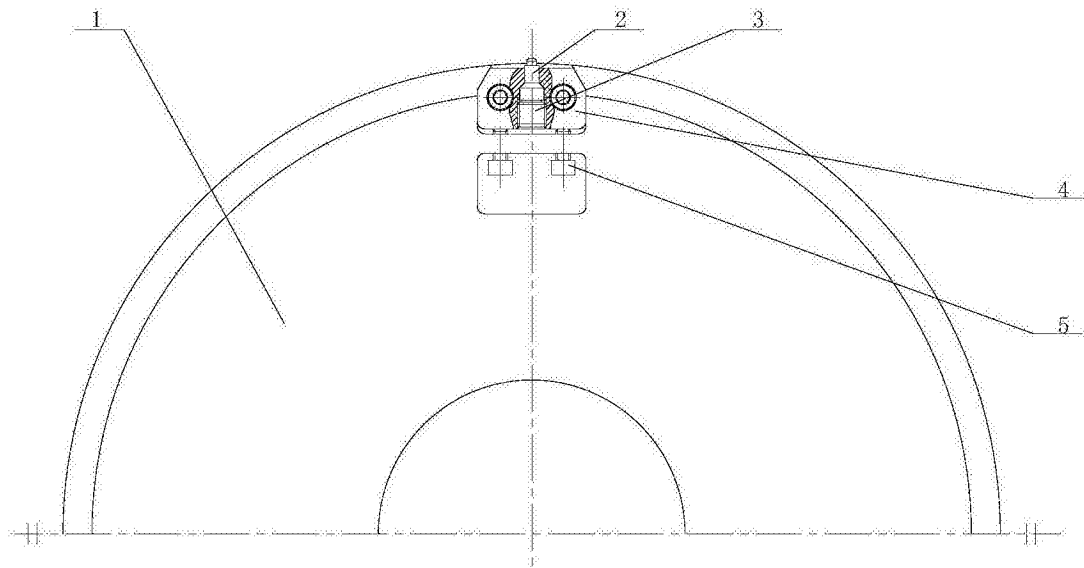


图 2

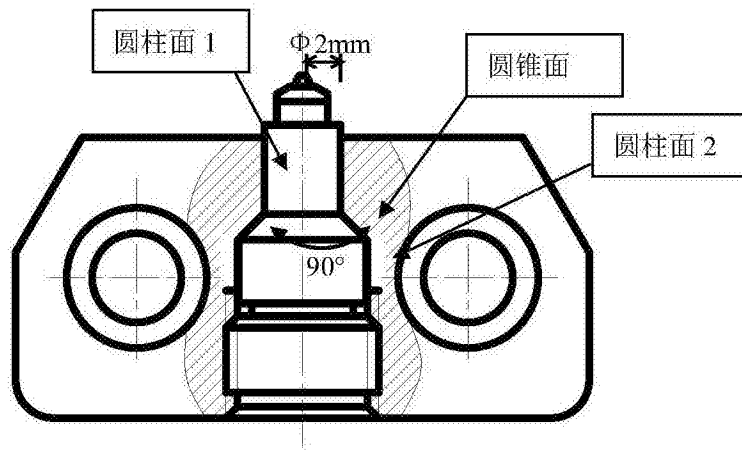


图 3

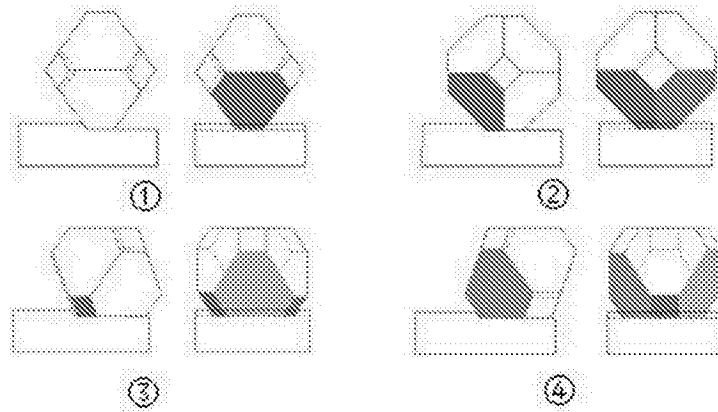


图 4

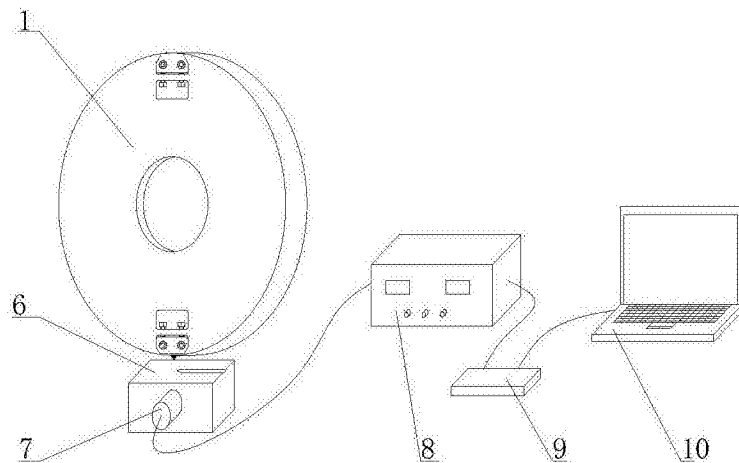


图 5

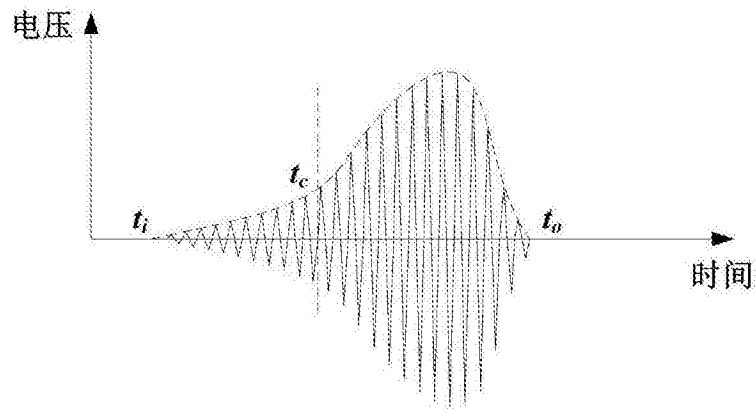


图 6