



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108031981 A

(43)申请公布日 2018.05.15

(21)申请号 201711369382.5

G05D 5/03(2006.01)

(22)申请日 2017.12.18

(71)申请人 中国科学院西安光学精密机械研究所

地址 710119 陕西省西安市高新区新型工业园信息大道17号

(72)发明人 贺斌 赵卫 黄江波 田东坡

(74)专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

代理人 汪海艳

(51)Int.Cl.

B23K 26/364(2014.01)

B23K 26/12(2014.01)

B23K 26/70(2014.01)

G05D 5/00(2006.01)

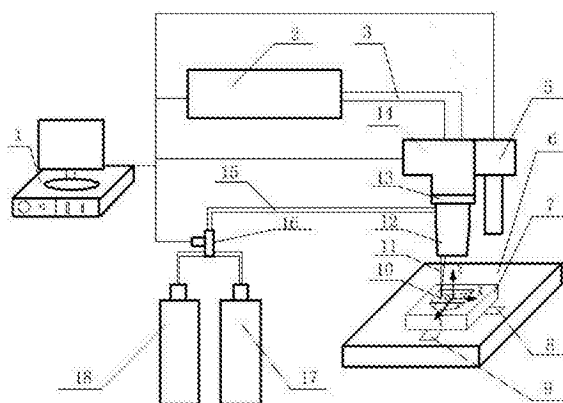
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种用于曲面结构成形的激光刻蚀方法及装置

(57)摘要

本发明属于激光加工技术领域,特别涉及一种用于曲面结构成形的激光刻蚀方法及装置。首先,将需去除材料划分为主体区及壳体区,在主体区及壳体区选取特征点;然后,根据所要加工曲面的三维结构特征,采用梯度式分层刻蚀方法对主体区进行刻蚀;刻蚀至特征点位置时,测量特征点的坐标,当主体区所有特征点的测量坐标与理论坐标的误差在设定范围内时,结束主体区的加工,进入壳体区加工;最后,根据所要加工曲面的三维结构特征,采用精细三维扫描方法对壳体区进行刻蚀加工;刻蚀至特征点位置时,测量特征点的坐标,当所有特征点的测量坐标与理论坐标差值的平均值小于设定值时,结束壳体区的加工。在曲面结构成形过程中保证了精度并提高了效率。



1. 一种用于曲面结构成形的激光刻蚀方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:将需去除材料划分为主体区及壳体区,在主体区及壳体区选取特征点;

步骤二:根据所要加工曲面的三维结构特征,采用梯度式分层刻蚀方法对主体区进行刻蚀;

步骤三:刻蚀至特征点位置时,测量特征点的坐标,当主体区所有特征点的测量坐标与理论坐标的误差在设定范围内时,结束主体区的加工,进入壳体区加工;

步骤四:根据所要加工曲面的三维结构特征,采用精细三维扫描方法对壳体区进行刻蚀加工;

步骤五:刻蚀至特征点位置时,测量特征点的坐标,当所有特征点的测量坐标与理论坐标差值的平均值小于设定值时,结束壳体区的加工。

2. 根据权利要求1所述的用于曲面结构成形的激光刻蚀方法,其特征在于:在步骤二的刻蚀过程中吹送氧气。

3. 根据权利要求1或2所述的用于曲面结构成形的激光刻蚀方法,其特征在于:在步骤四的刻蚀过程中吹送惰气。

4. 根据权利要求3所述的用于曲面结构成形的激光刻蚀方法,其特征在于:步骤二具体为将主体区划分为多层,分层的厚度从上到下逐渐减小或各层厚度相等,从上到下逐层进行扫描刻蚀。

5. 根据权利要求4所述的用于曲面结构成形的激光刻蚀方法,其特征在于:步骤二还包括将主体区划分为若干主体单区的步骤,将每个单区采用梯度式分层刻蚀方法对主体区进行刻蚀。

6. 根据权利要求5所述的用于曲面结构成形的激光刻蚀方法,其特征在于:步骤二中在每一层刻蚀过程中采用“回”字形填充。

7. 根据权利要求6所述的用于曲面结构成形的激光刻蚀方法,其特征在于:所述壳体区为以最终成形的曲面为底面且厚度为0.03-0.1mm的片状实体区域。

8. 一种用于曲面结构成形的激光刻蚀装置,其特征在于:包括运动系统、激光扫描系统、测距系统及数据处理及控制系统;

所述运动系统包括用于固定待加工工件(7)的三维移动平台(6);

所述激光扫描系统包括沿激光光路依次设置的激光器(2)、三维扫描模块(14)及远心场镜(13);所述激光器(2)用于发射激光,所述三维扫描模块(14)及远心场镜(13)用于根据待加工工件(7)加工曲面的三维结构特征将激光聚焦在待加工工件(7)表面;

所述测距系统包括激光测距仪(5),所述激光测距仪(5)用于测定选定的特征点的坐标,并将测量的坐标数据反馈至数据处理及控制系统;

所述数据处理及控制系统用于存储待加工工件加工曲面的三维结构,并与激光器(2)、三维扫描模块(14)及激光测距仪(5)连接,控制激光器(2)、三维扫描模块(14)及激光测距仪(5)工作及进行数据处理。

9. 根据权利要求8所述的用于曲面结构成形的激光刻蚀装置,其特征在于:还包括气体防护系统,所述气体防护系统包括惰气源、氧气源、气体转换器(16)及与三维扫描模块(14)同轴设置的喷嘴(12),所述气体转换器(16)包括三个端口,惰气源及氧气源的端口通过气体转换器(16)及输气管(15)与喷嘴(12)连通,气体转换器(16)的另一个端口与数据处理及

控制系统连接。

10. 根据权利要求9所述的用于曲面结构成形的激光刻蚀装置,其特征在于:所述三维扫描模块(14)为scanlab三维振镜,所述数据处理及控制系统包括工控机(1)。

一种用于曲面结构成形的激光刻蚀方法及装置

技术领域

[0001] 本发明属于激光加工技术领域,特别涉及一种采用超快激光实现硬脆材料三维曲面结构精细成形的高效加工工艺方法及装置。

背景技术

[0002] 三维曲面结构精细加工是单晶叶片微结构、特种刀具、半导体器件、高端手表等领域的关键技术,并且随着电子消费类产品的个性化设计,硬脆材料三维精细结构的加工需求会急剧增加。当前硬脆材料曲面结构零件成形主要依靠粉末冶金、电火花、数控机床等技术手段完成。然而粉末冶金的方法需要开模且周期长,电火花只能加工金属材料且加工效率均不高,数控激光加工硬脆材料刀具耗损严重且CBN等刀具材料基本无法加工。

[0003] 采用超快激光配合光束逐层扫描加工可以加工精细的三维结构,但分层加工过程中层数越少则精度越差,甚至会带来明显的“台阶”,然而层数太多则导致效率太低,另外激光与材料作用时,不可避免的会存在一定氧化现象,所以对于三维精细结构的加工,保证加工质量的前提下提高加工效率是需要解决的关键问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种用于曲面结构成形的激光刻蚀方法及装置,在刻蚀过程中能够兼顾加工效率和加工精度。

[0005] 本发明的技术解决方案是提供一种用于曲面结构成形的激光刻蚀方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤一:将需去除材料划分为主体区及壳体区,在主体区及壳体区选取特征点;

[0007] 步骤二:根据所要加工曲面的三维结构特征,采用梯度式分层刻蚀方法对主体区进行刻蚀;

[0008] 步骤三:刻蚀至特征点位置时,测量特征点的坐标,当主体区所有特征点的测量坐标与理论坐标的误差在设定范围内时,结束主体区的加工,进入壳体区加工;

[0009] 步骤四:根据所要加工曲面的三维结构特征,采用精细三维扫描方法(为确保精度而采用的低功率、小光斑、小深度进给量进行加工)对壳体区进行刻蚀加工;

[0010] 步骤五:刻蚀至特征点位置时,测量特征点的坐标,当所有特征点的测量坐标与理论坐标差值的平均值小于设定值时,结束壳体区的加工。

[0011] 优选地,为了提高加工效率,在步骤二的刻蚀过程中吹送氧气。

[0012] 优选地,为了防止加工表面氧化,在步骤四的刻蚀过程中吹送惰气。

[0013] 优选地,根据主体区结构的复杂度,可以在步骤二中将主体区划分为多层,分层的厚度从上到下逐渐减小或各层厚度相等,从上到下逐层进行扫描刻蚀。

[0014] 优选地,步骤二还包括将主体区划分为若干主体单区的步骤,将每个单区采用梯度式分层刻蚀方法对主体区进行刻蚀。

[0015] 优选地,步骤二中在每一层刻蚀过程中采用“回”字形填充。

[0016] 优选地,上述壳体区为以最终成形的曲面为底面且厚度为0.03-0.1mm的片状实体区域。

[0017] 本发明还提供一种用于曲面结构成形的激光刻蚀装置,其特殊之处在于:包括运动系统、激光扫描系统、测距系统及数据处理及控制系统;

[0018] 上述运动系统包括用于固定待加工工件的三维移动平台;

[0019] 上述激光扫描系统包括沿激光光路依次设置的激光器、三维扫描模块及远心场镜;上述激光器用于发射激光,上述三维扫描模块及远心场镜用于根据待加工工件加工曲面的三维结构特征将激光聚焦在待加工工件表面;

[0020] 上述测距系统包括激光测距仪,上述激光测距仪用于测定选定的特征点的坐标,并将测量的坐标数据反馈至数据处理及控制系统;

[0021] 上述数据处理及控制系统用于存储待加工工件加工曲面的三维结构,并与激光器、三维扫描模块及激光测距仪连接,控制激光器、三维扫描模块及激光测距仪工作及进行数据处理。

[0022] 优选地,该装置还包括气体防护系统,上述气体防护系统包括惰气源、氧气源、气体转换器及与三维扫描模块同轴设置的喷嘴,上述气体转换器包括三个端口,惰气源及氧气源的端口通过气体转换器及输气管与喷嘴连通,气体转换器的另一个端口与数据处理及控制系统连接。

[0023] 优选地,上述三维扫描模块为scanlab三维振镜,上述数据处理及控制系统包括工控机。

[0024] 本发明的有益效果是:

[0025] 本发明设计了基于特征点尺寸提取的分工序,分区、分层的加工方式,在曲面结构成形过程中保证了精度并提高了效率,面型精度误差保证在0.1mm以内,曲面表面粗糙度 $\leq Ra1.6\mu m$,效率比当前工艺提高了近50%。

附图说明

[0026] 图1为用于曲面结构成形的激光刻蚀装置结构示意图;

[0027] 图2a为三维加工区域分区示意图一;

[0028] 图2b为三维加工区域分区示意图二;

[0029] 图3a为主体区加工分层及扫描示意图;

[0030] 图3b为主体区加工每层扫描示意图;

[0031] 图4为主体区底面特征点选取示意图;

[0032] 图5a为壳体区加工横向扫描方式示意图;

[0033] 图5b为壳体区加工纵向扫描方式示意图;

[0034] 图6为壳体区加工底面特征点选取示意图;

[0035] 图7为实施例排气槽三维结构;

[0036] 图8a为排气槽主体区需要去除材料三维结构;

[0037] 图8b为排气槽壳体区需要去除材料三维结构;

[0038] 图9为排气槽加工主体区特征点选取示意图;

[0039] 图10为排气槽加工壳体区特征点选取示意图;

[0040] 图11a为排气槽加工实体效果图一；

[0041] 图11b为排气槽加工实体效果图二；

[0042] 图中附图标记为：1-工控机，2-激光器，3-光束，5-激光测距仪，6-三维移动平台，7-待加工工件，8-X轴，9-Y轴，10-加工区域，11-聚焦光束，12-喷嘴，13-远心场镜，14-三维扫描模块，15-输气管，16-气体转换器，17-氧气瓶，18-氩气瓶，19-壳体区底部曲面，20-壳体区，21-主体区。

具体实施方式

[0043] 以下结合附图及具体实施例对本发明做进一步的描述。

[0044] 本发明提供一种用于曲面结构成形的激光刻蚀方法，具体可通过以下步骤实现：

[0045] (1) 将需去除材料划分为主体区及壳体区并分为两个阶段加工，根据所要加工曲面三维结构特征，在曲面上选定5-8个特征点。

[0046] (2) 主体区主要采用梯度式分层刻蚀加工方式以提高加工效率，并且在加工过程中采用氧气助燃提高效率，刻蚀加工过程中根据加工流程用激光测距仪分别对各特征点加工尺寸进行测量，从而保证加工过程中面型精度的及时控制，以及最终型面精度的控制，当所有特征点加工完成且精度在一定的范围内时，确定为三维结构主体区域加工完成且精度合格，进入壳体加工工序。

[0047] (3) 与主体区域分层加工相对应的是，壳体区采用精细三维扫描以提高面型精度及加工表面质量，即采用较小功率、较小光斑、较小进给量进行高精度的三维扫描来消除分层高效加工中出现的“台阶”问题，同时采用5-10个特征点数据的采集求均值来判断曲面加工精度是否达标以及加工的启停。

[0048] 为实现上述方法，设计了如下系统，从图1可以看出，该系统主要包括运动系统、数据处理及控制系统、光束扫描系统、气体防护系统及测距系统。

[0049] 运动系统包括三维移动平台6，待加工工件7固定在三维移动平台6上，通过调节三维移动平台6能够调节待加工工件7沿XYZ方向移动。

[0050] 光束扫描系统包括沿激光光路设置的激光器2、三维扫描模块14及远心场镜13，三维扫描模块14调节激光器2的激光，根据要成形的曲面三维结构特征扫描待加工工件7，远心场镜13将激光光束3聚焦。

[0051] 气体防护系统包括氧气源、惰气源及与三维扫描模块同轴安装的喷嘴12，此处，氧气源和惰气源采用氧气瓶17和氩气瓶18，氧气瓶17和氩气瓶18通过气体转换器16及输气管15与喷嘴12连接，气体转换器16包括三个端口，惰气源及氧气源的端口通过气体转换器16及输气管15与喷嘴12连通，气体转换器16的另一个端口与数据处理及控制系统连接。

[0052] 测距系统包括激光测距仪5，用于测量特征点的三维坐标。

[0053] 数据处理及控制系统用于存储待加工工件加工曲面的三维结构并分别与激光器2、三维扫描模块14及激光测距仪5连接控制激光器2、三维扫描模块14及激光测距仪5工作及进行数据处理。。

[0054] 利用该系统实现三维曲面结构的加工：

[0055] 首先，如图2a及图2b所示，数据处理及控制系统被输入要加工成形的三维模型数据，随后将待加工工件7上需去除的加工区域10划分为主体区21及壳体区20，其中壳体区20

为以最终成形的曲面19为底面且厚度为0.03-0.1mm的片状实体区域。如果主体区21结构复杂,则根据主体区21底部对应的曲面面型情况,将所得到的主体区21进行进一步划分得到若干主体单区,每个单区分别处理,且所有单区从属于同一个壳体区20。

[0056] 分区之后将三维曲面各层结构特征存储至数据处理及控制系统。

[0057] 数据处理及控制系统根据三维曲面各层结构特征控制超快激光器2,三维扫描模块14及远心场镜13工作,配备旁轴激光测距仪5,以高功率,高速度、大光斑(调整离焦量)、大深度进给量的方式对各个主体单区进行分层填充刻蚀加工,同时采用氧气助燃,气压0.1-0.3MPa。

[0058] 如图3a及3b所示,加工过程中采用从上到下逐层扫描的方式进行,分层的厚度从上到下逐渐减小,保证到接近壳体区20时采用低功率、小光斑、小深度进给量进行加工。在每一层扫描过程中采用“回”字形填充,在每一层加工过程中,“回”字形填充保证外密内疏,疏密程度按照光斑大小及加工面尺寸进行优化调整,且不同的路径的扫描方向和扫描速度也需要按照工艺要求进行调整。

[0059] 如图4所示,数据处理及控制系统在主体区21(或每个主体单区)底部设置若干个特征点(一般特征点值设置为5-8个),按照首件加工调试好的工艺在加工到一定程度后使用激光测距仪5对这些特征点尺寸进行检测,各个特征点差值的平均值小于10 μ m为正常范围,在最后一个特征点加工完成后停止加工主体区21(或该主体单区),认为所有特征点的位置在设定的误差范围内时认为主体区21底部曲面的加工要求完成。

[0060] 主体区21底部曲面特征点检测预测曲面加工精度方法如下:

[0061] 1)、如图4所示,C1、C2、C3、C4、C5点在加工中的理论Z坐标分别为 m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 、 m_5 ,且 $m_1 > m_2 > m_3 > m_4 > m_5$ 。提取C1点位置Z向坐标为 m_1 ,利用激光测距仪5测定C1点的实际位置C1'在Z方向坐标 m_1' ,当 $|m_1 - m_1'| \leq 10\mu\text{m}$ 时,认为曲面在C1'点以上的曲面加工精度合格。

[0062] 2)、提取C2点Z向理论坐标值为 m_2 ,利用激光测距仪5测定实际C2'位置在Z方向坐标 m_2' ,当 $|m_2 - m_2'| \leq 10\mu\text{m}$ 时,认为曲面在C2'点以上的曲面加工精度合格。

[0063] 3)、C3、C4、C5的处理方式和C1和C2点处理方法保持一致。当C5点处理结束后停止加工,则认为主体区21底部曲面加工精度合格。

[0064] 主体区21加工完成后,采用三维扫描模块14,利用其焦点在三维空间可快速变化的特性对壳体区20进行如图5a所示的横向(d向)和图5b所示的纵向(e向)的交替三维扫描,以逐层去除壳体区材料,并得到最终所需面型。同时采用氩气(或氮气)等惰性气体进行保护,防止表面氧化,气压0.1-0.3MPa。

[0065] 加工壳体区20的过程中,如图6所示,在壳体区20底部设置若干个特征点F1、F2、F3、F4、F5、F6,其在Z方向的理论坐标值分别为 n_1 、 n_2 、 n_3 、 n_4 、 n_5 、 n_6 。加工10层后(每层加工3-5 μ m),采用测距仪测量壳体区20上的实际点F1'、F2'、F3'、F4'、F5'、F6'对应的Z向实际坐标值 n_1' 、 n_2' 、 n_3' 、 n_4' 、 n_5' 、 n_6' 。当 $\sum |n_i - n_i'| / 6 < 10\mu\text{m}$ ($i = 1-6$)时认为曲面加工精度合格,否则继续加工10层后再次测量,直至加工合格则认为整个曲面加工精度达标。

[0066] 以下以曲面槽的刻蚀加工为具体实施例,对本发明做进一步的阐述。

[0067] 1、加工要求:

[0068] 图7为需要加工曲面槽三维结构,面型精度要求20 μ m,。

[0069] 2、加工部位

[0070] 如图8a及图8b所示,将待加工的曲面槽分为主体区和壳体区;

[0071] 3、加工步骤

[0072] (1)、加工装置准备

[0073] 采用三维移动平台固定待加工工件,采用紫外纳秒激光为光源,通过scanlab三维振镜和sil远心场镜将激光聚焦在工件表面进行曲面槽加工,振镜旁边为激光测距仪及和振镜同轴的喷嘴。根据待加工曲面槽的理论参数调节激光焦距100-200mm,扫描幅面150mm×150mm。

[0074] (2)、主体区21加工

[0075] 如图9所示,主体区需要加工的最大厚度为2.5mm,将主体区域分为100层,每层0.025mm;在主体区边界曲面上选定5个点,C1(第20层)、C2(第40层)、C3(第60层)、C4(第80层)、C5(第100层)。开始逐层回字形扫描,扫描速度为500-1500mm/s,激光负离焦2mm,同轴吹送氧气,气压为0.1-0.3MPa。

[0076] 加工到第18-21层时校验C1点高度,第39-41层时校验C2点高度,第60-63层时校验C3点高度,第80-85层时校验C4点高度,第95-100层时校验C5点高度,在加工到110层时结束,C5点误差值为0.08mm。

[0077] (3)、壳体区加工

[0078] 如图10所示,壳体区厚度为0.5mm,将壳体区域分为50层,每层0.01mm,在壳体区底部曲面找6个特征点(F1、F2、F3、F4、F5、F6)。开始逐层三维曲线扫描,扫描速度为500-1500mm/s,激光负离焦2mm,同轴吹送氩气,气压为0.1-0.3MPa。在扫描到45层时校验一下5个特征点的高度,其高度和理论高度差的平均值为0.015mm;继续扫描2层,其高度和理论高度差的平均值为0.009mm,停止扫描。

[0079] 图11a及图11b所示为加工曲面槽的实体图,经检验其面型精度达到了10-20 μ m,曲面粗糙度为Ra3.2 μ m。

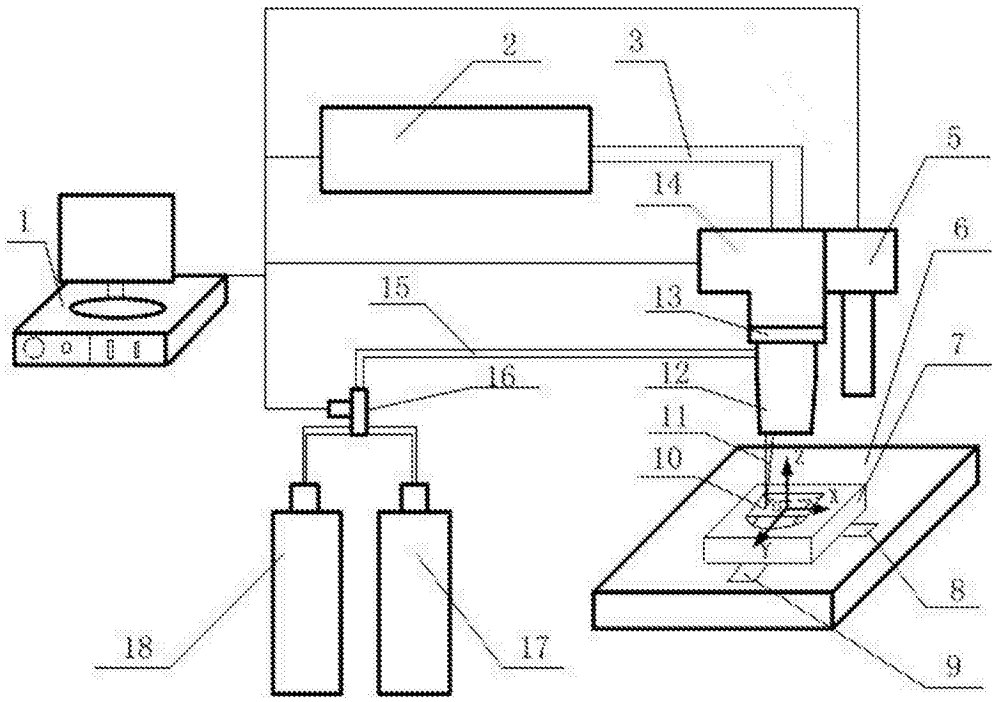


图1

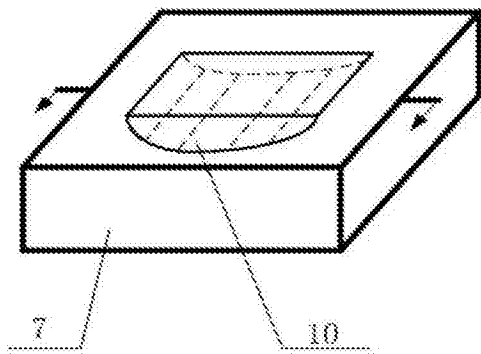


图 2a

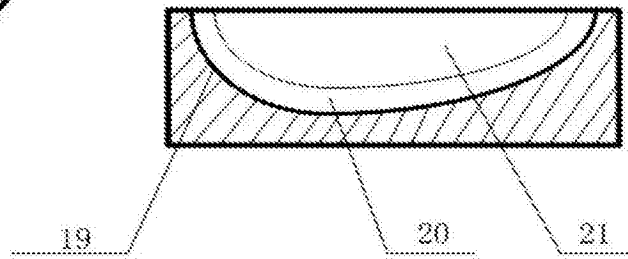


图 2b

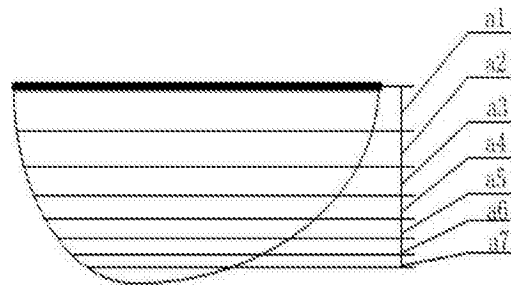


图3a

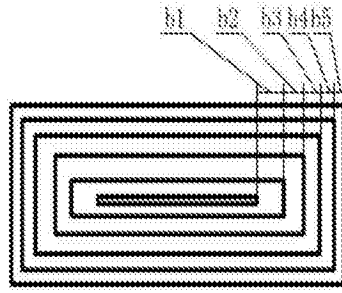


图3b

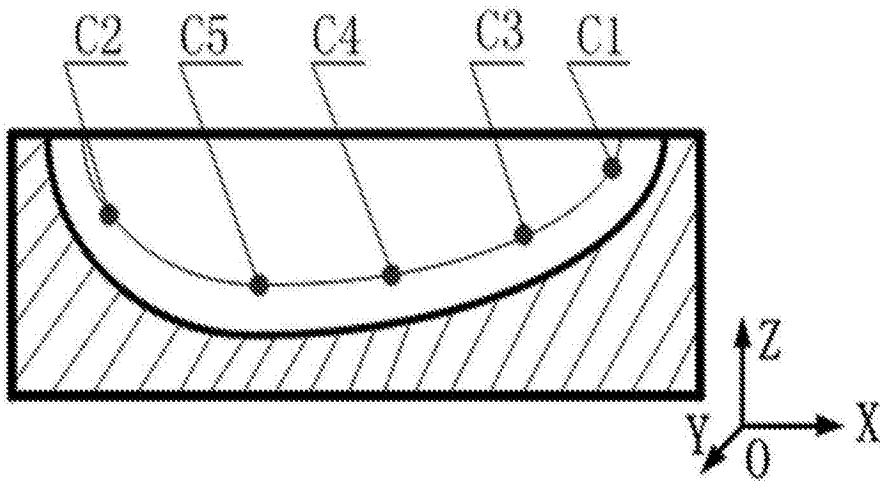


图4

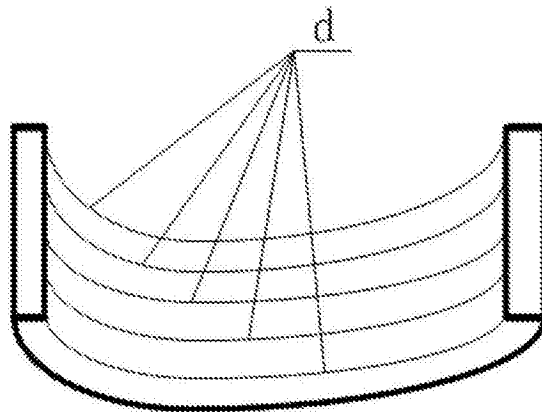


图5a

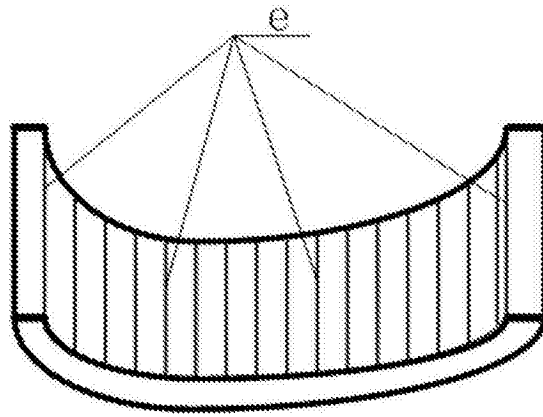


图5b

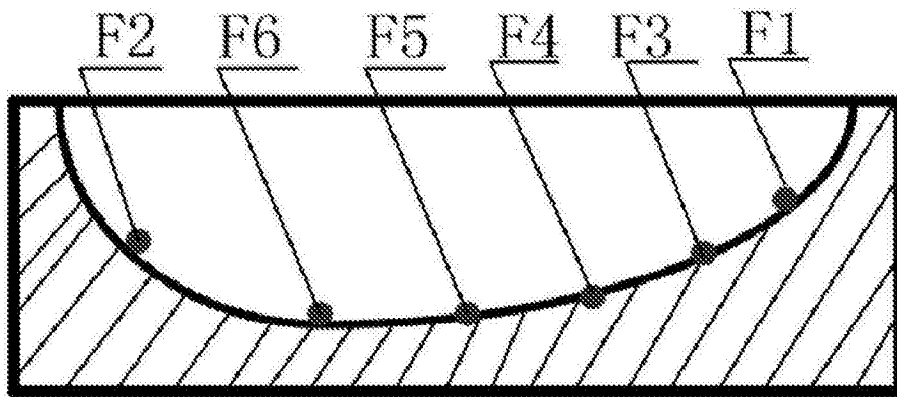


图6

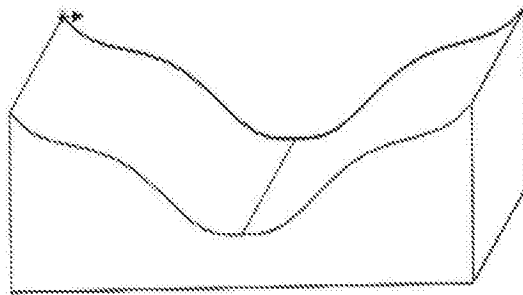


图7

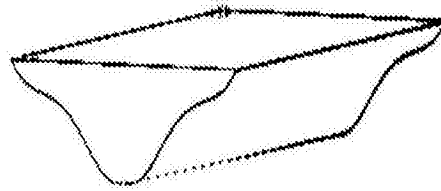


图8a

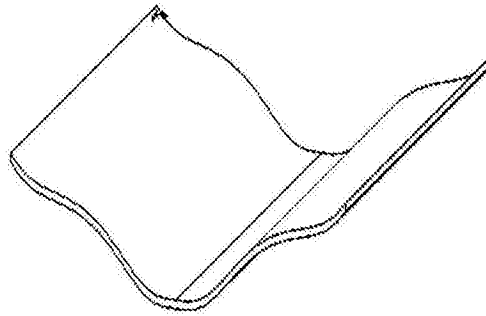


图8b

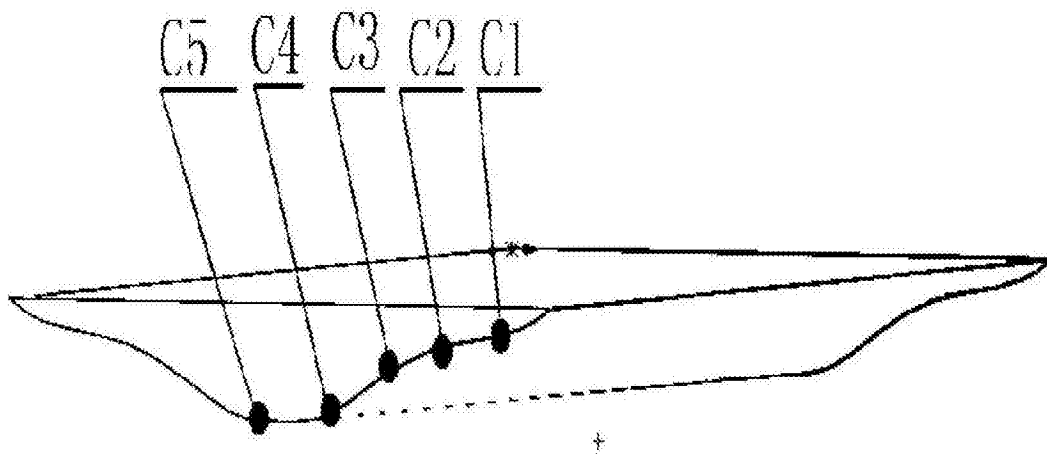


图9

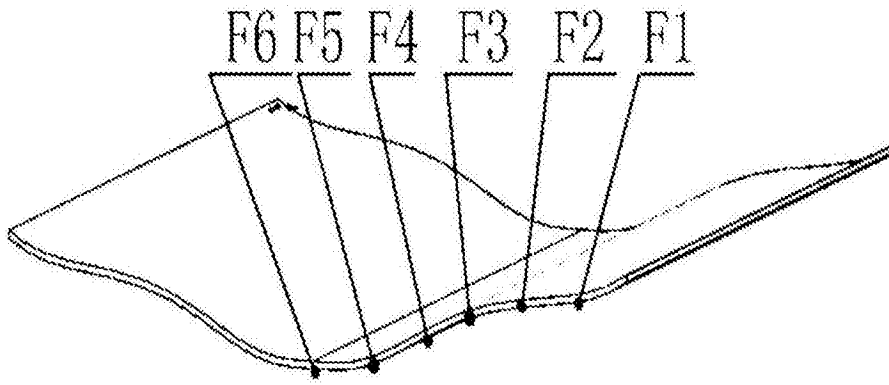


图10

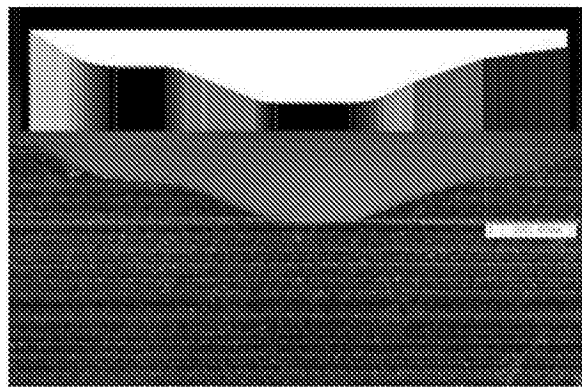


图11a

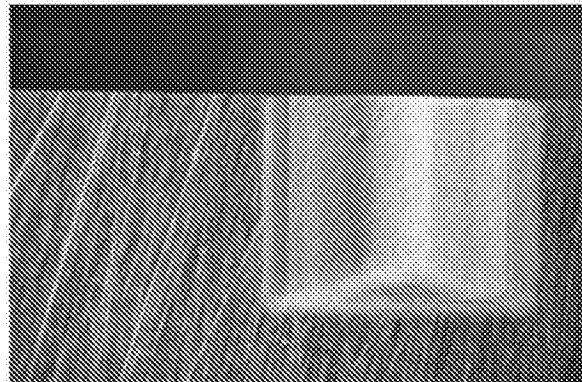


图11b