



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106141808 B

(45)授权公告日 2017.12.15

(21)申请号 201610548263.5

B23Q 17/09(2006.01)

(22)申请日 2016.07.12

G05B 19/4093(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 龚颖

申请公布号 CN 106141808 A

(43)申请公布日 2016.11.23

(73)专利权人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5
号院

(72)发明人 王西彬 高守锋 焦黎 王东前

颜培 刘志兵 王昭 彭振新

(74)专利代理机构 石家庄新世纪专利商标事务

所有限公司 13100

代理人 董金国

(51)Int.Cl.

B23Q 15/12(2006.01)

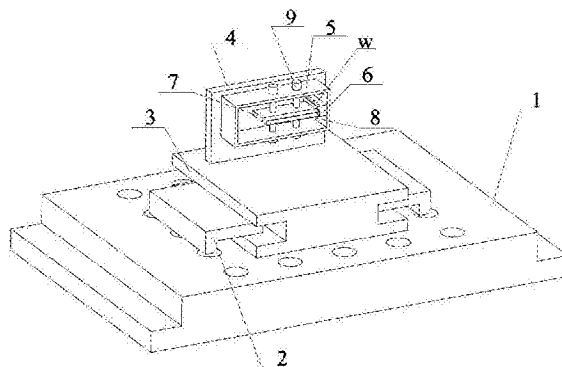
权利要求书2页 说明书9页 附图11页

(54)发明名称

一种变切深调节装置及径向切削参数优化
工艺方法

(57)摘要

本发明涉及微细加工领域,具体涉及一种变切深调节装置及径向切削参数优化工艺方法,包括设置于机床工作台上的测力仪、压板以及加工台,所述加工台通过压板设置在测力仪上,还包括立板、支撑盒、悬柱、紧定螺栓与支撑横板,所述立板垂直设置在加工台上方前部,本发明通过调整支撑横板在悬柱上的位置,并借助读数标尺确定实际加工位置,极大地缩短了装夹调整时间,使操作更加便捷;本发明支撑横板保留有一定角度,可以方便的满足径向切削深度的调整,提高了操作效率。



1. 一种变切深调节装置,包括设置于机床工作台上的测力仪(1)、压板(2)以及加工台(3),其特征在于:所述加工台(3)通过压板(2)设置在测力仪(1)上;

还包括立板(4)、支撑盒(5)、悬柱(6)、紧定螺栓(9)与支撑横板(7),所述立板(4)垂直设置在加工台(3)上方前部;所述支撑盒(5)垂直设置在立板(4)中部,所述悬柱(6)设有燕尾槽(6-1)以及刻度标注,所述悬柱(6)设于支撑盒(5)内部,并垂直于立板(4);所述支撑横板(7)设有燕尾滑块(7-1),所述支撑横板(7)垂直于立板(4)设置在支撑盒(5)内部,并通过燕尾滑块(7-1)和燕尾槽(6-1)的配合与悬柱(6)构成滑动连接,所述支撑横板(7)上端设有装夹槽(8),所述紧定螺栓(9)穿过支撑盒(5)与支撑横板(7)相接触;

所述支撑横板(7)呈直角梯形,所述支撑横板(7)上边线与水平线构成角度 β ,所述角度 β 的取值范围为 $3^\circ \sim 7^\circ$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种变切深调节装置,其特征在于:所述紧定螺栓(9)成对设置,并对称分布在所述支撑横板(7)两侧。

3. 利用权利要求1所述的装置进行径向切削参数优化工艺方法,其特征在于步骤如下:

①确定微细铣削单位切削力计算模型:

101将工件固定到装夹槽(8)内,滑动支撑横板(7),通过紧定螺栓(9)将支撑横板(7)固定,读取悬柱(6)上的初始加工标尺刻度并记录;

102建立上一个切削周期中的铣刀轮廓与当前切削周期的铣刀轮廓坐标系,记录每次切削所去除的材料以及切削深度不断变化时的峰值,并定义为最大未切削深度,记作 h_{\max} ,确定最大未切削深度与每齿进给量 f_z 、径向切削深度 a_e 、刀具半径 r_{tool} 之间的关系:

$$h_{\max} = f_z \cdot \cos\theta = f_z \cdot \frac{\sqrt{2r_{\text{tool}} \cdot a_e - a_e^2} - f_z}{\sqrt{r_{\text{tool}}^2 - 2f_z \sqrt{2r_{\text{tool}} \cdot a_e - a_e^2} + f_z^2}} \quad (1);$$

103利用测力仪(1)采集的切削力峰值 F_{\max} ,得出单位面积的切削力 k_c ,即微细铣削单位切削力计算模型达式:

$$k_c = \frac{F_{\max}}{a_p \cdot h_{\max}} = \frac{F_{\max} \cdot \sqrt{r_{\text{tool}}^2 - 2f_z \sqrt{2r_{\text{tool}} \cdot a_e - a_e^2} + f_z^2}}{a_p \cdot f_z \cdot (\sqrt{2r_{\text{tool}} \cdot a_e - a_e^2} - f_z)} \quad (2)$$

其中 a_p 代表切削过程中的轴向切削深度;

②保持轴向切削深度不变,调节滑动支撑横板(7)进而改变径向切削深度值,得到不同的切削参数下的单位切削力,得到单位切削力与切削用量之间的关系并记录:

201将切削加工进行分组,使切削加工高度等于轴向切削深度 a_p 、径向切削深度从0到0.1mm递增;

202切削过程中用测力仪(1)实时记录切削力数据,用于切削力峰值的获取及单位切削力的计算;

③基于记录的数据,运用模糊逻辑的方法进行切削参数优化:

301根据记录的数据绘制单位切削力的变化曲线,并通过其导数值确定曲线上的突变点,即切削发生在该点以后,单位切削力的变化急剧增加,定义该点所对应的切削深度为极限切削深度;

302对不同组别的记录数据均按照步骤301进行处理,得到不同切削参数组合下的极限

切削深度；

303将记录的数据对集合的符合程度用一个介于0和1之间的数值隶属度来表示,并选用三角形和梯形隶属度函数作为参数的模糊化工具,完成输入变量的模糊化处理;

304定义相关模糊规则的逻辑计算,每个模糊规则均采用“IF-THEN”语句,不同的模糊规则间采用“AND”语句连接,建立最小切削深度的模糊逻辑预测模型;

305以切削速度和每齿进给量作为输入变量,以最小切削深度作为输出变量,采用区域中心去模糊化法对语义描述状态下的输出变量进行了去模糊化操作,完成计算结果的去模糊化;

④根据不同参数组合下的最小切削深度预测结果反求出极限的径向切削深度,利用径

$$\text{向切削深度公式: } a_e' = r_{\text{tool}} - (r_{\text{tool}} - h_m') \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h_m'}{f_z}\right)^2} \quad (3)$$

对径向切削深度的进一步优化;式中 a_e' 为优化的径向切削深度, r_{tool} 刀具半径, h_m' 给定切削速度和每齿进给量下的最小切削深度预测值, f_z 每齿进给量。

4. 根据权利要求3所述的径向切削参数优化工艺方法,其特征在于:所述步骤模糊逻辑模型的精度采用公式:

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{|h_m^i - h_m^{\prime}|}{h_m^{\prime}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

计算,其中 h_m^i 表示计算得到的最小切削深度计算值, h_m^{\prime} 表示给定切削速度和每齿进给量下的最小切削深度预测值,N表示试验次数。

一种变切深调节装置及径向切削参数优化工艺方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微细加工领域,具体涉及一种变切深调节装置及径向切削参数优化工艺方法。

背景技术

[0002] 近年来,数控机床与刀具制造技术的发展使得微细切削成为一种针对三维介观尺度零部件制造的有效手段,相对于其他微制造技术而言,微细切削具有加工效率高,制造成本低,可进行复杂微小三维型面的加工等诸多优势,因而,是一种极具潜力的使能技术,势必将在生物医疗、仪器仪表、航空航天、智能微型机器人等领域得到大量应用。然而,微细切削加工过程中所选用的切削用量多为微米甚至亚微米级,因而微细切削过程中切削参数的合理选择是至关重要,国际期刊《International Journal of Machine Tools and Manufacture》2005年45卷第4期“Effects of the friction coefficient on the minimum cutting thickness in micro cutting”一文中通过刀具的刃口半径和工件与刀具间的摩擦系数来确定最小切削厚度,并得到最小切屑厚度的近似表达式,由于所加工的零部件整体尺寸在10mm以下,特征尺寸在1mm以下,此时刀具刃口的几何尺寸及材料的晶粒尺寸对于加工过程的影响不容忽略,加工过程中常伴随着尺度效应的发生,由此产生的最小切削深度现象会对加工过程产生巨大影响,故最小切削厚度不能单纯依靠理论表达式,需要借助于试切实验,目前实验过程中的切深支撑装置大多采用普通夹具与卡具,不能方便的调节工件的装夹深度,这也给切削参数的选取与进一步优化带来不便。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是提供一种操作方便、提高效率的变切深调节装置及径向切削参数优化方法。通过优化径向切削参数,解决微细铣削加工过程中单位切削力及刀具寿命控制的问题;通过基于模糊逻辑方法得到不同的切削参数对单位切削力的影响,并确定微细铣削加工径向切削深度的优化工艺方法。

[0004] 为解决以上技术问题,本发明采用如下技术方案:

[0005] 技术方案一:

[0006] 一种变切深调节装置,包括设置于机床工作台上的测力仪、压板以及加工台,所述加工台通过压板设置在测力仪上;还包括立板、支撑盒、悬柱、紧定螺栓与支撑横板,所述立板垂直设置在加工台上方前部;所述支撑盒垂直设置在立板中部,所述悬柱设有燕尾槽以及刻度标注,所述悬柱设于支撑盒内部,并垂直于立板;所述支撑横板设有燕尾滑块,所述支撑横板垂直于立板设置在支撑盒内部,并通过燕尾滑块和燕尾槽的配合与悬柱构成滑动连接,所述支撑横板上端设有装夹槽,所述紧定螺栓穿过支撑盒与支撑横板相接触;所述支撑横板呈直角梯形,所述支撑横板上边线与水平线构成角度 β ,所述角度 β 的取值范围为 $3^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 。所述紧定螺栓成对设置,并对称分布在所述支撑横板两侧。

[0007] 技术方案二:

[0008] 本发明的径向切削参数优化工艺方法步骤如下(利用所述的装置进行径向切削参数优化方法):

[0009] ①确定微细铣削单位切削力计算模型:

[0010] 101将工件固定到装夹槽内,滑动支撑横板,通过紧定螺栓将支撑横板固定,读取悬柱上的初始加工刻度并记录;

[0011] 102建立上一个切削周期中的铣刀轮廓与当前切削周期的铣刀轮廓坐标系,记录每次切削所去除的材料以及切削深度不断变化时的峰值,并定义为最大未切削深度,记作 h_{max} ,确定最大未切削深度与每齿进给量 f_z 、径向切削深度 a_e 、刀具半径 r_{tool} 之间的关系:

$$[0012] \quad h_{max} = f_z \cdot \cos\theta = f_z \cdot \frac{\sqrt{2r_{tool} \cdot a_e - a_e^2} - f_z}{\sqrt{r_{tool}^2 - 2f_z \sqrt{2r_{tool} \cdot a_e - a_e^2} + f_z^2}} \quad (1);$$

[0013] 103利用测力仪(1)采集的切削力峰值 F_{max} ,得出单位面积的切削力 k_c ,即微细铣削单位切削力计算模型达式:

$$[0014] \quad k_c = \frac{F_{max}}{a_p \cdot h_{max}} = \frac{F_{max} \cdot \sqrt{r_{tool}^2 - 2f_z \sqrt{2r_{tool} \cdot a_e - a_e^2} + f_z^2}}{a_p \cdot f_z \cdot (\sqrt{2r_{tool} \cdot a_e - a_e^2} - f_z)} \quad (2)$$

[0015] 其中 a_p 代表切削过程中的轴向切削深度;

[0016] ②保持轴向切削深度不变,调节滑动支撑横板进而改变径向切削深度值,得到不同的切削参数下的单位切削力,得到单位切削力与切削用量之间的关系并记录:

[0017] 201将切削加工进行分组,使切削加工高度等于轴向切削深度 a_p 、径向切削深度从0到0.1mm递增;

[0018] 202切削过程中用测力仪实时记录切削力数据,用于切削力峰值的获取及单位切削力的计算;③基于记录的数据,运用模糊逻辑的方法进行切削参数优化:

[0019] 301根据记录的数据绘制单位切削力的变化曲线,并通过其导数值确定曲线上的突变点,即切削发生在该点以后,单位切削力的变化急剧增加,定义该点所对应的切削深度为极限切削深度;

[0020] 302对不同组别的记录数据均按照步骤301进行处理,得到不同切削参数组合下的极限切削深度;

[0021] 303将记录的数据对集合的符合程度用一个介于0和1之间的数值隶属度来表示,并选用三角形和梯形隶属度函数作为参数的模糊化工具,完成输入变量的模糊化处理;

[0022] 304定义模糊规则的逻辑计算,每个模糊规则均采用“IF-THEN”语句,不同的模糊规则间采用“AND”语句连接,建立最小切削深度的模糊逻辑预测模型;

[0023] 305以切削速度和每齿进给量作为输入变量,以最小切削深度作为输出变量,采用区域中心去模糊化法对语义描述状态下的输出变量进行去模糊化操作,完成计算结果的去模糊化;

[0024] ④反求出极限的径向切削深度,利用径向切削深度公式:

$$[0025] \quad a_e' = r_{tool} - (r_{tool} - h_m') \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h_m'}{f_z}\right)^2} \quad (3)$$

[0026] 对径向切削深度的进一步优化;式中 a_e' 为优化的径向切削深度, r_{tool} 刀具半径,

h_m' 给定切削速度和每齿进给量下的最小切削深度预测值, f_z 每齿进给量。

[0027] 所述模糊逻辑模型的精度采用公式:

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{|h_m' - h_m''|}{h_m''} \right) \times 100\% \quad (4)$$

[0029] 计算, 其中 h_m'' 表示计算得到的最小切削深度计算值, h_m' 表示给定切削速度和每齿进给量下的最小切削深度预测值, N 表示试验次数。

[0030] 本发明的积极效果如下: 本发明通过调整支撑横板在悬柱上的位置, 并借助读数标尺确定实际加工位置, 极大地缩短了装夹调整时间, 使操作更加便捷; 本发明支撑横板保留有一定角度, 可以方便的满足径向切削深度的调整, 提高了操作效率; 因微细切削过程影响因素众多, 在宏观尺度切削中的可以忽略的一些因素都会对微细切削过程产生很大影响, 尤其是尺度效应的存在是宏观切削和微细切削的重要区别, 在刀具和材料确定的前提下, 切削参数的合理选择对于避免尺度效应具有重要的意义; 本发明所采用的切削参数优化方法具有很好的通用性, 可以用于不同的刀具和不同的材料, 通过合理地调整试验平台, 可以方便地控制工件在每次切削中的材料去除量, 通过记录的切削力数据及一系列计算可得到不同的径向切削深度下对应的单位切削力; 本发明基于不同的切削参数及对应的单位切削力可以建立特定刀具及材料下的最小切削深度预测模型, 当切削参数改变时, 基于该模型可以得到新工况下对应的最优径向切削深度, 实现单位切削力的有效控制, 对于提高加工质量, 减少切削热的产生和提高刀具寿命均具有重要的意义。

附图说明

[0031] 图1为本发明加工台结构示意图;

[0032] 图2为本发明悬柱结构示意图;

[0033] 图3为本发明立板结构示意图;

[0034] 图4为本发明支撑横板结构示意图;

[0035] 图5为本发明坐标系示意图;

[0036] 图6为本发明最大未切削深度示意图;

[0037] 图7为本发明径向切削深度示意图;

[0038] 图8为本发明单位切削力变化规律示意图;

[0039] 图9为本发明最小切削深度确定示意图;

[0040] 图10为本发明切削速度与隶属度的示意图;

[0041] 图11为本发明每齿进给量与隶属度的示意图;

[0042] 图12为本发明最小切削深度与隶属度的示意图;

[0043] 图13为本发明模型预测精度示意图;

[0044] 图14为本发明第2组单位切削力控制效果示意图;

[0045] 图15为本发明第5组单位切削力控制效果示意图;

[0046] 图16为本发明第8组单位切削力控制效果示意图;

[0047] 图17为本发明预测模型输出参数值示意图;

[0048] 在图中: 1测力仪、2压板、3加工台、4立板、5支撑盒、6悬柱、6-1燕尾槽、7支撑横板、

7-1燕尾滑块、8装夹槽、9紧定螺栓, w 为悬柱上的标尺刻度, a 为径向切削深度, b 为2mm铣刀单位切削力, c 为单位切削力, d 为基于模糊逻辑模型的最小切深预测值, e 为基于实验的最小切深计算值, f 为表5中的第二组切削试验单位切削力, g 表6中的第一组切削试验单位切削力, h 表5中的第五组切削试验单位切削力, i 表6中的第二组切削试验单位切削力, j 表5中的第八组切削试验单位切削力, k 表6中的第三组切削试验单位切削力, w_1 即将被切除的材料, w_4 切削深度为0.0247时单位切削力的变化范围, w_5 切削深度为0.0283时单位切削力的变化范围, w_6 切削深度为0.0650时单位切削力的变化范围。

具体实施方式

[0049] 下面结合附图和具体实例对本发明进行详细说明。

[0050] 一、本发明装置的实施例:

[0051] 实施例1

[0052] 如图1、2、3、4所示,一种变切深调节装置,包括设置于机床工作台上的测力仪1、压板2以及加工台3,所述加工台3通过压板2设置在测力仪1上;还包括立板4、支撑盒5、悬柱6、紧定螺栓9与支撑横板7,所述立板4垂直设置在加工台3上方前部;所述支撑盒5垂直设置在立板4中部,所述悬柱6设有燕尾槽6-1以及刻度标注,所述悬柱6设于支撑盒5内部,并垂直于立板4;所述支撑横板7设有燕尾滑块7-1,所述支撑横板7垂直于立板4设置在支撑盒5内部,并通过燕尾滑块7-1和燕尾槽6-1的配合与悬柱6构成滑动连接,所述支撑横板7上端设有装夹槽8,所述紧定螺栓9穿过支撑盒5与支撑横板7相接触;所述支撑横板7呈直角梯形,所述支撑横板7上边线与水平线构成角度 β ,所述角度 β 的取值范围为 $3^\circ \sim 7^\circ$ 。所述紧定螺栓9成对设置,并对称分布在所述支撑横板7两侧。

[0053] 本发明中装夹槽8在装夹好工件后采用相应的紧定螺栓进行预紧,预紧方式与支撑横板7的预紧方式一致。

[0054] 本发明中所述的支撑横板7呈直角梯形,所述支撑横板7上边线与水平线构成角度 β ,所述角度 β 根据不同的加工需要选取,选取范围为 $3^\circ \sim 7^\circ$, $10^\circ \sim 15^\circ$ 、 4° 以及 12° 。

[0055] 本发明加工台3的横截面呈工字型。

[0056] 二、本发明方法的实施例:

[0057] 实施例:

[0058] ①确定微细铣削单位切削力计算模型:

[0059] 101将工件固定到装夹槽(8)内,滑动支撑横板(7),通过紧定螺栓(9)将支撑横板(7)固定,读取悬柱(6)上的初始加工刻度并记录;

[0060] 102如图5、6所示,圆 O_1 为上一个切削周期中(铣刀转过 180°)的铣刀轮廓, O_2 为当前切削周期的铣刀轮廓。以圆 O_1 的圆心为原点建立坐标系, O_1O_2 为每齿进给量,以PQR为顶点的区域代表每次切削所去除的材料,对于铣削而言,切削深度都是不断变化的,其中存在一个峰值,在图中可用线段PQ近似表示,被称作最大未切削深度,记作 h_{\max} ,当该量取值相对于刀具半径很小时, $\angle RQP$ 近似可看作 90° ,此时,最大未切削深度与每齿进给量、径向切削深度、刀具半径之间满足以下关系:

$$[0061] \quad h_{\max} = f_z \cdot \cos\theta = f_z \cdot \frac{\sqrt{2r_{\text{tool}} \cdot a_e - a_e^2} - f_z}{\sqrt{r_{\text{tool}}^2 - 2f_z \sqrt{2r_{\text{tool}} \cdot a_e - a_e^2} + f_z^2}} \quad (1)$$

[0062] 上式中, f_z 为每齿进给量, r_{tool} 为刀具半径, a_e 为径向切削深度, 式 (1) 揭示了在刀具确定的情况下, 最大未切削深度与每齿进给量及径向切削深度 a_e 有关。

[0063] 103 对于一个切削周期而言, 切削力会呈现出“先急剧增加后缓慢减小的状态”, 利用测力仪 (1) 采集的切削力峰值 F_{\max} , 当切削刃开始切入工件材料时, 切削力会急剧上升, 达到一个峰值后会以一个较小的速率降低, 峰值切削力出现时对应的未切削深度近似等于最大未切削深度, 用图 6 中 PQ 线表示。用 a_p 代表切削过程中的轴向切削深度, 则单位面积切削力可以计算如下:

$$[0064] \quad k_c = \frac{F_{\max}}{a_p \cdot h_{\max}} = \frac{F_{\max} \cdot \sqrt{r_{\text{tool}}^2 - 2f_z \sqrt{2r_{\text{tool}} \cdot a_e - a_e^2} + f_z^2}}{a_p \cdot f_z \cdot (\sqrt{2r_{\text{tool}} \cdot a_e - a_e^2} - f_z)} \quad (2)$$

[0065] 其中, 单位切削力用 k_c 表示, 此处为单位切削面积上的主切削力, F_{\max} 为某切削周期内的峰值切削力, h_{\max} 为切削过程中的最大未切削深度。基于上述模型当轴向切削深度保持不变时, 单位面积切削力与峰值切削力和最大未切削深度有关, 而最大未切削深度是关于径向切削深度的函数, 因此, 在切削速度和进给量保持恒定的情况下通过改变径向切削深度值来改变切削过程中的最大未切削深度。

[0066] ②保持轴向切削深度不变, 调节滑动支撑横板 (7) 进而改变径向切削深度值, 得到不同的切削参数下的单位切削力, 得到单位切削力与切削用量之间的关系并记录:

[0067] 201 为使优化方法更具有普遍性, 本发明采用变径向切削深度的方式, 将切削分多次进行, 每次切削所使用的切削参数均不同, 但去除的材料体积相同, 均为一个高度等于轴向切削深度 a_p 、径向切削深度从 0 到 0.1mm 递增的楔形, 如图 7 所示, 试验中所选用的切削参数如表 1 所示。

[0068] 随着径向切削深度逐渐减小的过程中, 单位切削力呈现逐渐增加的趋势, 如图 8、9 所示, 而且从某一位置开始, 单位切削力的增速明显加快, 即单位切削力变化曲线存在一个临界点, 当径向切削深度小于该临界点处对应的切削深度时, 单位切削力急剧增加。

[0069] 202 切削过程中用测力仪 1 实时记录切削力数据, 用于切削力峰值的获取及单位切削力的计算。

[0070] ③基于记录的数据, 运用模糊逻辑的方法进行切削参数优化:

[0071] 根据的单位切削力获取方法可以得到不同试验组下单位切削力的变化规律, 单位切削力的变化曲线上存在一个较为明显的转折点, 当切削发生在该点以后时, 单位切削力的变化急剧增加, 因此, 该点处对应的切削深度可以看作是极限切削深度, 为了避免严重的尺度效应发生, 在实际加工过程中, 切削深度参数应该大于改值。

[0072] 301 根据记录的数据绘制单位切削力的变化曲线, 并通过其导数值确定曲线上的突变点, 即切削发生在该点以后, 单位切削力的变化急剧增加, 定义该点所对应的切削深度为极限切削深度;

[0073] 302 对表 1 中的各组试验数据均进行以上处理, 即可得到不同切削参数组合下的极限切削深度, 结果如表 2 所示。

[0074] 表1切削试验参数

试验序号	径向切削深度范围 (mm)	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	切削速度 (m/s)	每齿进给量($\mu\text{m}/z$)
1	0~0.1	16000	30	0.84	0.94
2	0~0.1	16000	50	0.84	1.56
3	0~0.1	16000	70	0.84	2.19
4	0~0.1	18000	30	0.94	0.83
5	0~0.1	18000	50	0.94	1.39
6	0~0.1	18000	70	0.94	1.94
7	0~0.1	20000	30	1.05	0.75
8	0~0.1	20000	50	1.05	1.25
9	0~0.1	20000	70	1.05	1.75

[0076] 表2各组切削的最小切削深度

试验序号	切削速度(m/s)	每齿进给量($\mu\text{m}/z$)	极限切削深度(μm)
1	0.84	0.94	0.74
2	0.84	1.56	0.49
3	0.84	2.19	0.61
4	0.94	0.83	0.73
5	0.94	1.39	0.55
6	0.94	1.94	0.58
7	1.05	0.75	0.83
8	1.05	1.25	0.64
9	1.05	1.75	0.63

[0078] 303将记录的数据对集合的符合程度用一个介于0和1之间的数值隶属度来表示,如表3所示,并选用三角形和梯形隶属度函数作为参数的模糊化工具,完成输入变量的模糊化处理,分段完成的各参数的隶属度函数如图10、11、12所示。

[0079] 表3输入输出参数的分段与语义表达

[0080]

	输入参数 1	输入参数 2	输出参数
参数	$v_c(\text{m/s})$	$f_z(\mu\text{m/z})$	$h_m(\mu\text{m})$
符号		Very low(VL),	
语义	Low(L),	Low(L),	Very small(VS), Small(S), Medium(M),
表达	Medium(M),	Medium(M),	Large(L), Very large(VL)
	High(H),	High(H), Very high(VH)	
范围	0.75~1.09	0.03~2.91	0.43~0.89

[0081] 304定义相关模糊规则的逻辑计算,每个模糊规则均采用“IF-THEN”语句,不同的模糊规则间采用“AND”语句连接,建立最小切削深度的模糊逻辑预测模型,如表4所示;

[0082] 表4采用语义表达的模糊规则

各参数的语义描述			
试验组号	输入变量		输出变量
	切削速度	每齿进给量	最小切削深度
1	L	L	L
2	L	M	VS
3	L	H	S
4	M	L	L
5	M	M	S
6	M	H	S
7	H	L	VL
8	H	M	M
9	H	H	M

[0084] 305以切削速度和每齿进给量作为输入变量,以最小切削深度作为输出变量,采用区域中心去模糊化法对语义描述状态下的输出变量进行了去模糊化操作,完成计算结果的去模糊化。

[0085] ④根据不同参数组合下的最小切削深度预测结果反求出极限的径向切削深度,利

用径向切削深度公式:
$$a_e' = r_{\text{tool}} - (r_{\text{tool}} - h_m') \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h_m'}{f_z}\right)^2} \quad (3)$$

[0086] 对径向切削深度的进一步优化;式中 a_e' 为优化的径向切削深度, r_{tool} 刀具半径, h_m' 给定切削速度和每齿进给量下的最小切削深度预测值, f_z 每齿进给量。

[0087] 为了验证上述模糊逻辑模型的可靠性,切削速度及每齿进给量都是随机选取的,

基于建立的模糊逻辑模型可以得到最小切削深度的预测值,所选用的切削参数、基于模糊逻辑模型的最小切削深度预测值及实际计算值如表5所示。

[0088] 表5最小切削深度的预测值与实际值

[0089]

试验序号	轴向切深 (mm)	切削速度 (m/s)	每齿进给量 ($\mu\text{m}/z$)	径向切深 (mm)	模糊逻辑预测值(μm)	最小切削深度实际值 (μm)
1	0.5	0.8	0.5	0~0.1	0.745	0.726
2	0.5	0.8	1.5	0~0.1	0.490	0.490
3	0.5	0.8	2.5	0~0.1	0.575	0.546
4	0.5	0.9	0.5	0~0.1	0.745	0.763
5	0.5	0.9	1.5	0~0.1	0.575	0.597
6	0.5	0.9	2.5	0~0.1	0.575	0.597
7	0.5	1	0.5	0~0.1	0.830	0.763
8	0.5	1	1.5	0~0.1	0.660	0.643
9	0.5	1	2.5	0~0.1	0.660	0.686

[0090] 如图13所示,基于模糊逻辑模型的最小切削深度预测值和根据验证实验得到的实际测量值进行对比。

[0091] 用 h_m'' 表示基于试验数据计算得到的最小切削深度计算值,用 h_m' 表示给定切削速度和每齿进给量下的最小切削深度预测值,N表示试验次数,则采用以上方法得到的最小切

削深度预测精度可以计算如下:
$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{|h_m' - h_m''|}{h_m''} \right) \times 100\% \quad (4)$$
,计算得出模型的精度

可达96.4%。

[0092] 当径向切削深度小于 a_e' 时会产生较大的单位切削力,因此,实际加工过程中,切削深度的取值应该大于该值。为了验证采用上述优化方法的可行性,进一步开展了一系列恒定切削深度的验证性试验,除径向切削深度外,试验过程中的切削参数与表5中的第2、5和8组相同,见表6。

[0093] 表6单位切削力控制的验证试验

No.	v_c (m/s)	f_z ($\mu\text{m}/z$)	a_p (mm)	h_m' (μm)	a_e' (mm)
1	0.8	1.5	0.5	0.490	0.025
2	0.9	1.5	0.5	0.575	0.028
3	1.0	1.5	0.5	0.660	0.065

[0095] 在切削加工过程中随机选取了六个点,并对这些点处的单位切削力进行计算,为了便于比较验证试验中的单位切削力控制效果,此处将表5中的第2、5和8组的单位切削力变化规律分别于表6中的单位切削力进行对比,结果如图14、15、16所示。并得到最终的预测模型输出高度值,如图17所示。

[0096] 在采用优化的径向切削深度开展的切削试验中,单位切削力无剧烈变化,且均小于各对照组单位切削力变化曲线上的转折点处的单位切削力值。采用以上径向切削深度优化方法可以很好地实现控制单位切削力的目的,这对于提高加工质量,抑制切削热的产生,提高刀具寿命等都是十分重要的。

[0097] 以上所述实施方式仅为本发明的优选实施例,而并非本发明可行实施的穷举。对于本领域一般技术人员而言,在不背离本发明原理和精神的前提下对其所作出的任何显而易见的改动,都应当被认为包含在本发明的权利要求保护范围之内。

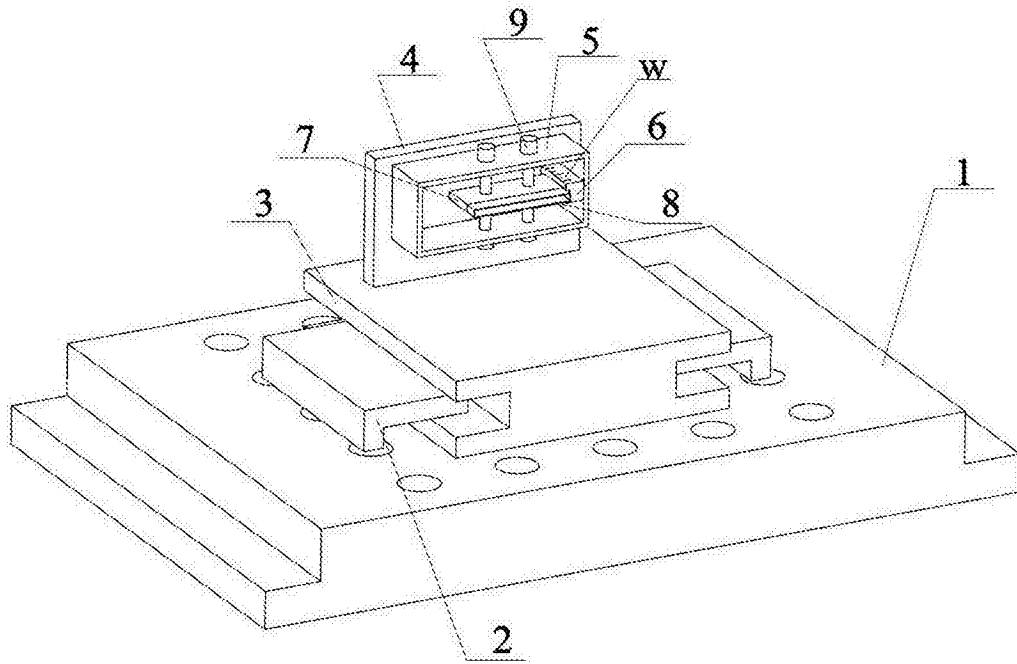


图1

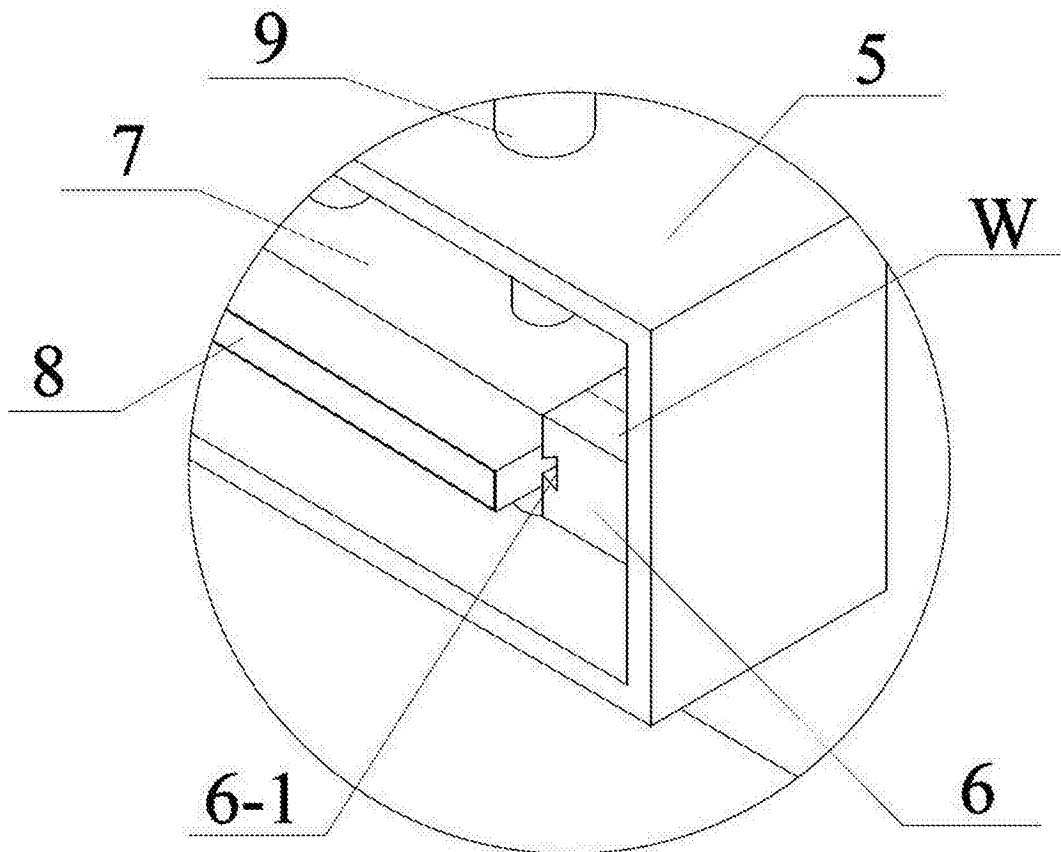


图2

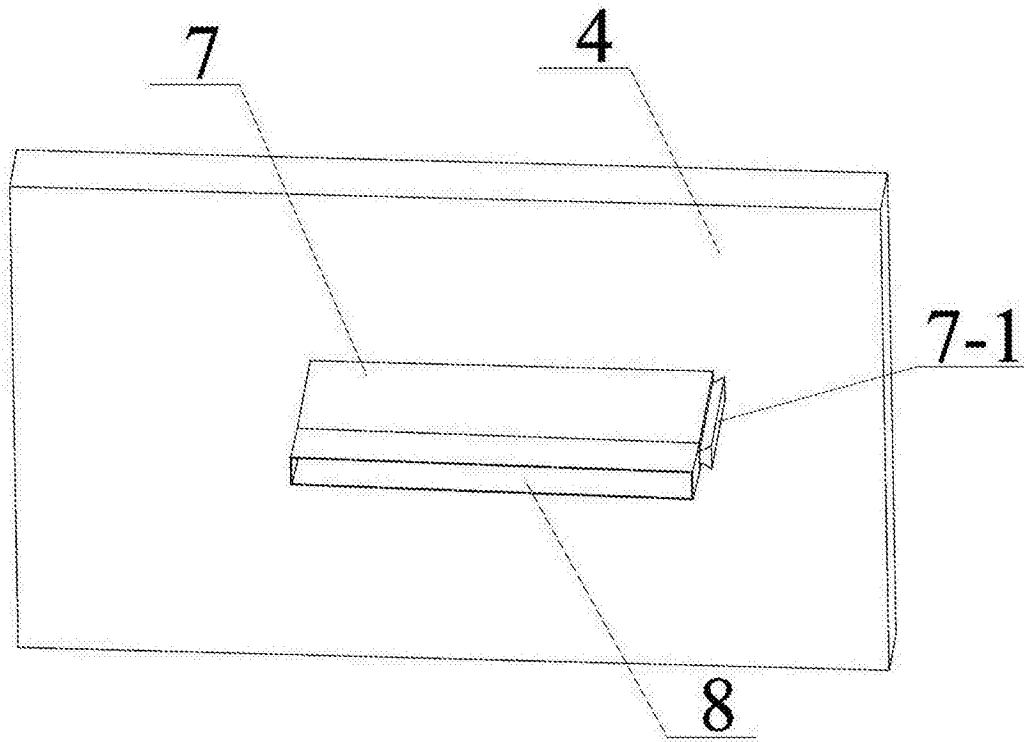


图3

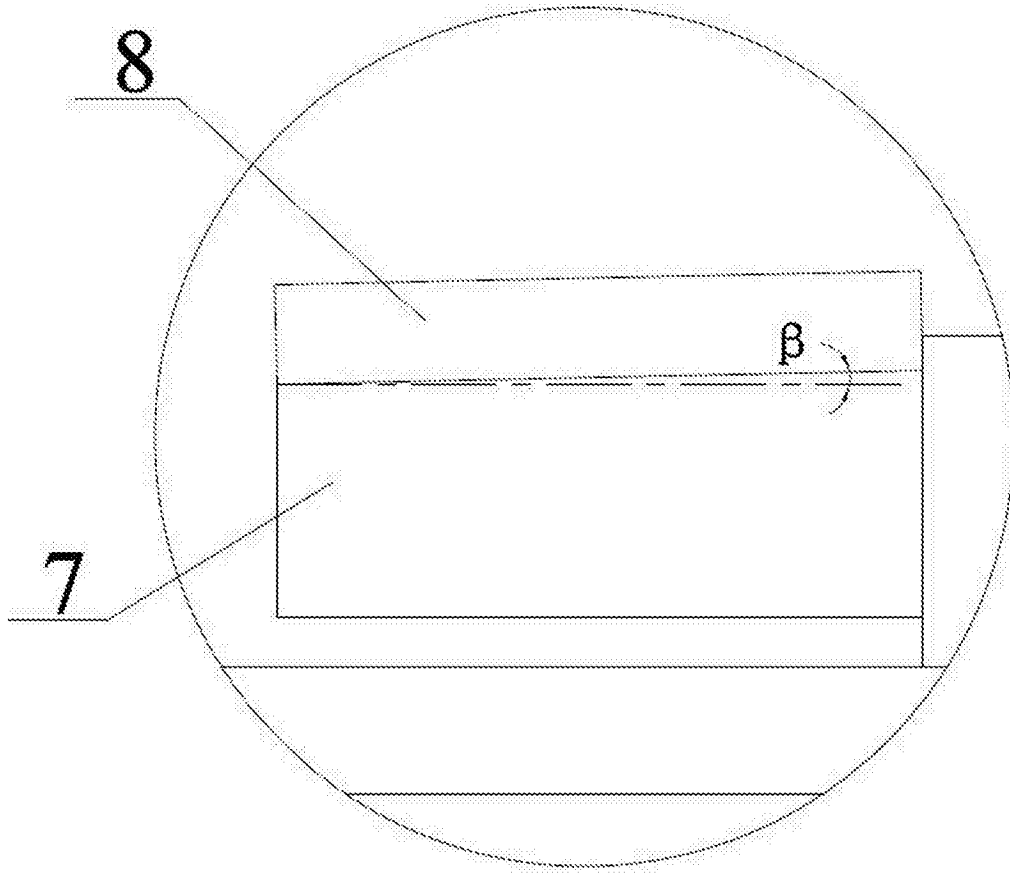


图4

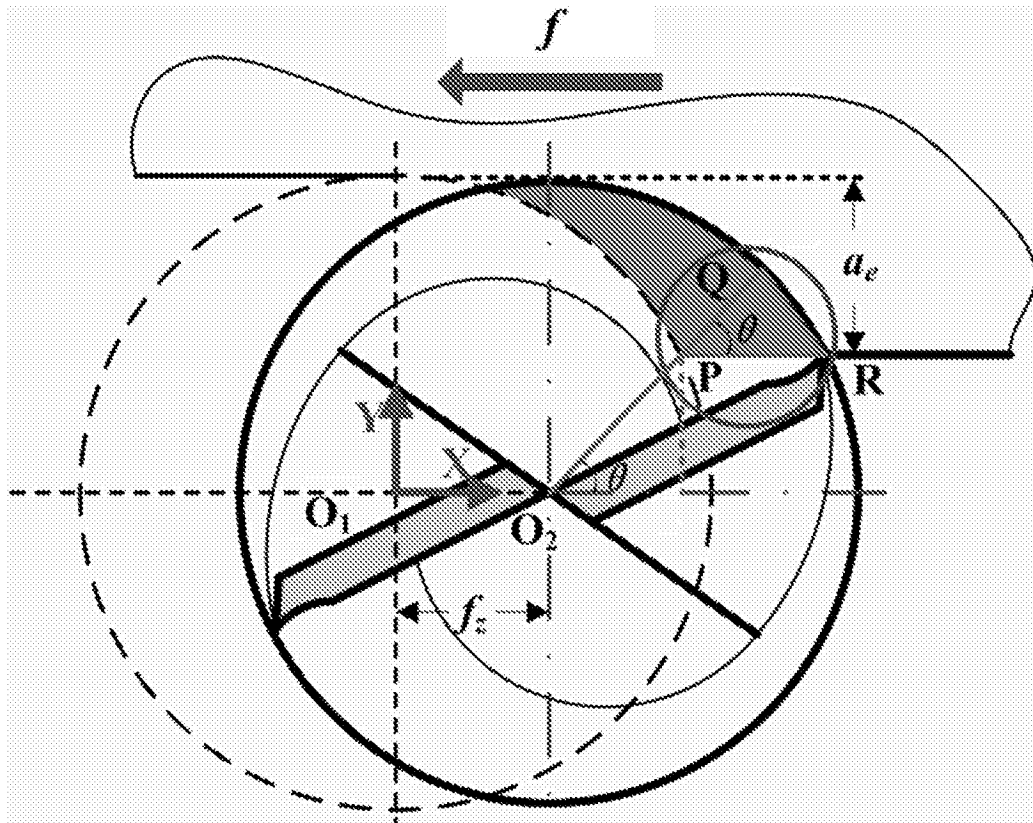


图5

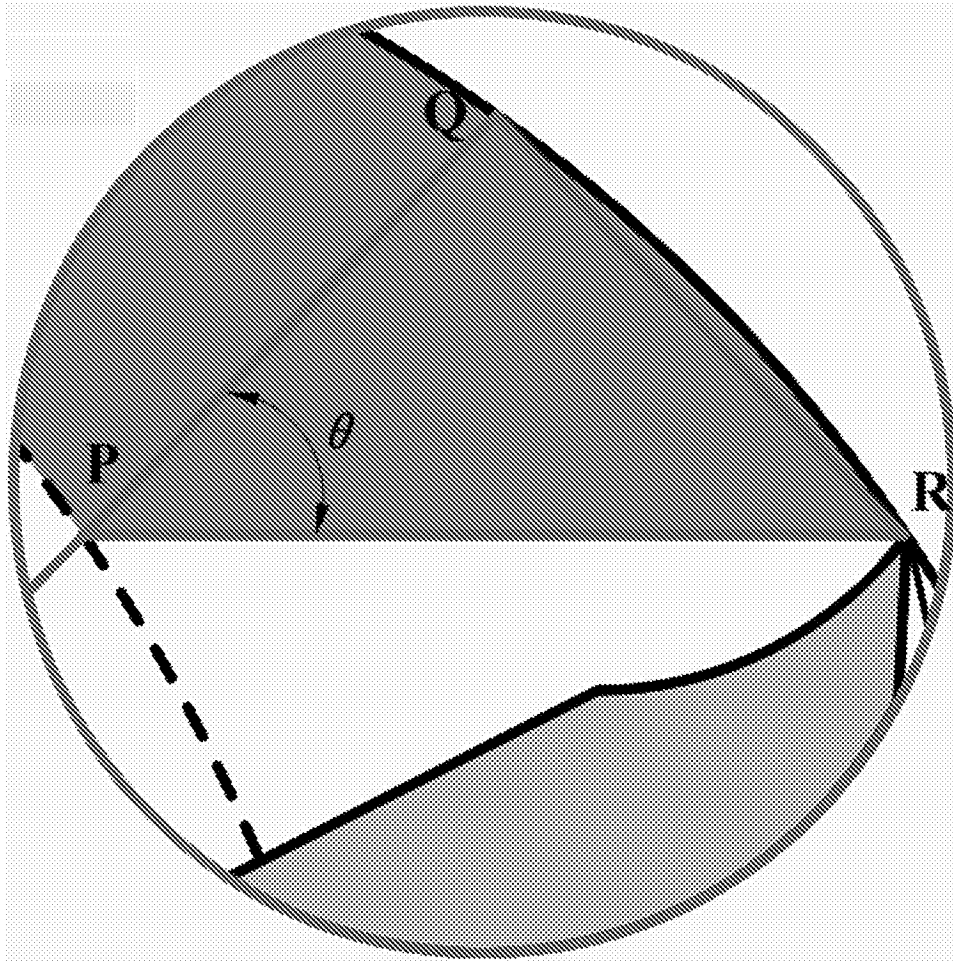


图6

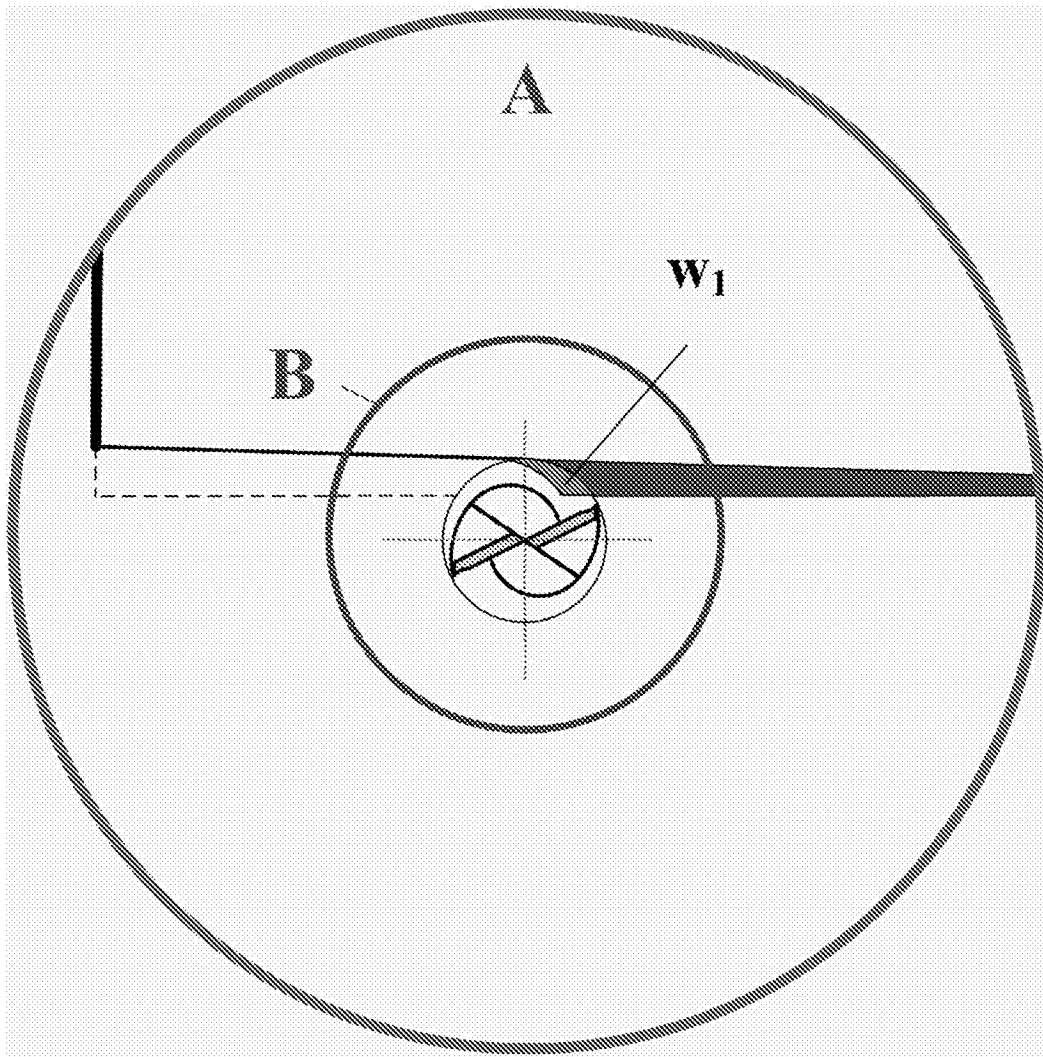


图7

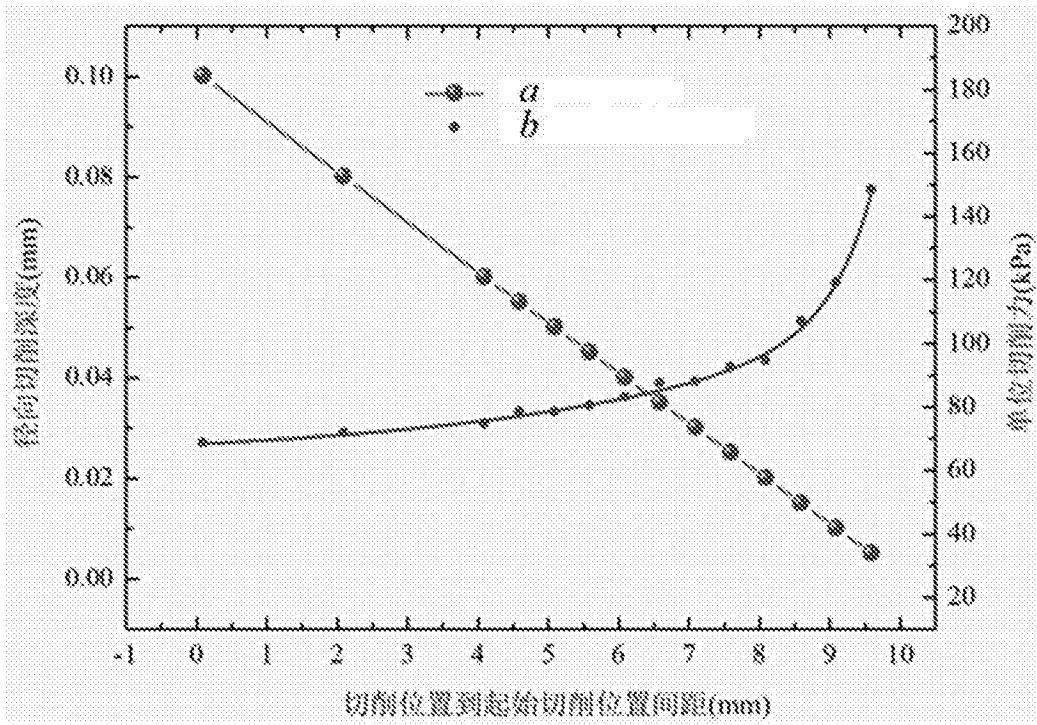


图8

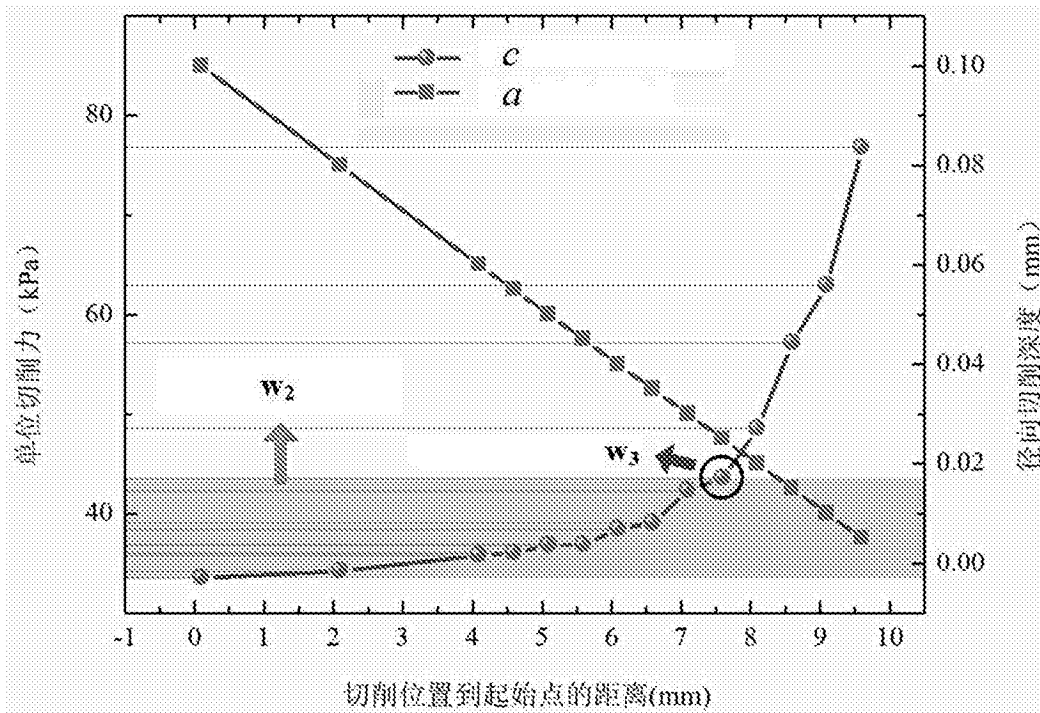


图9

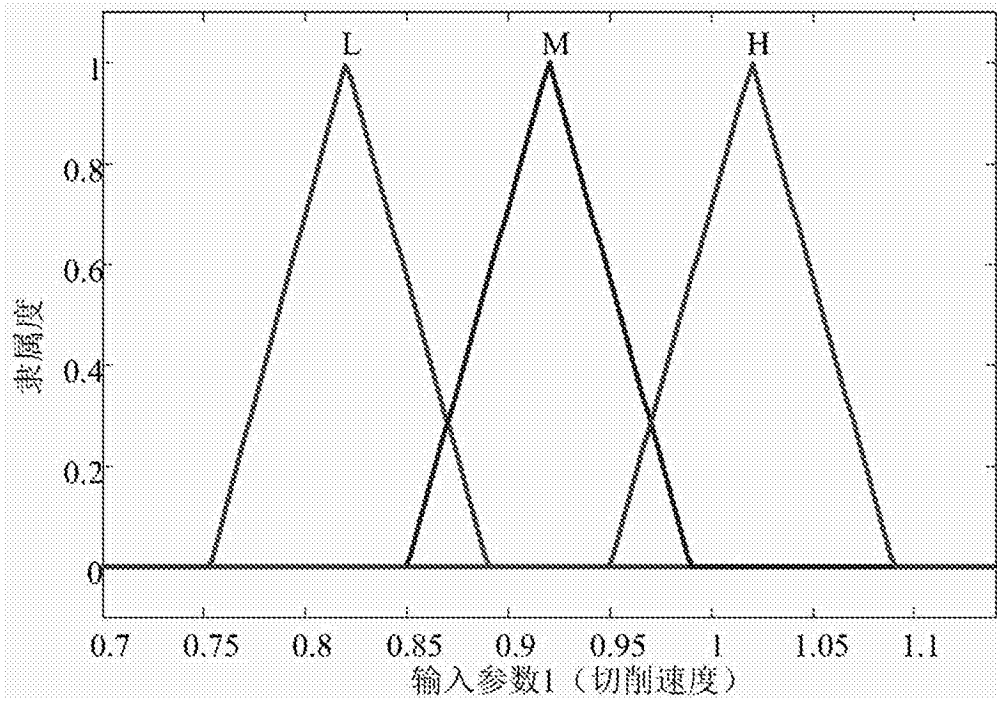


图10

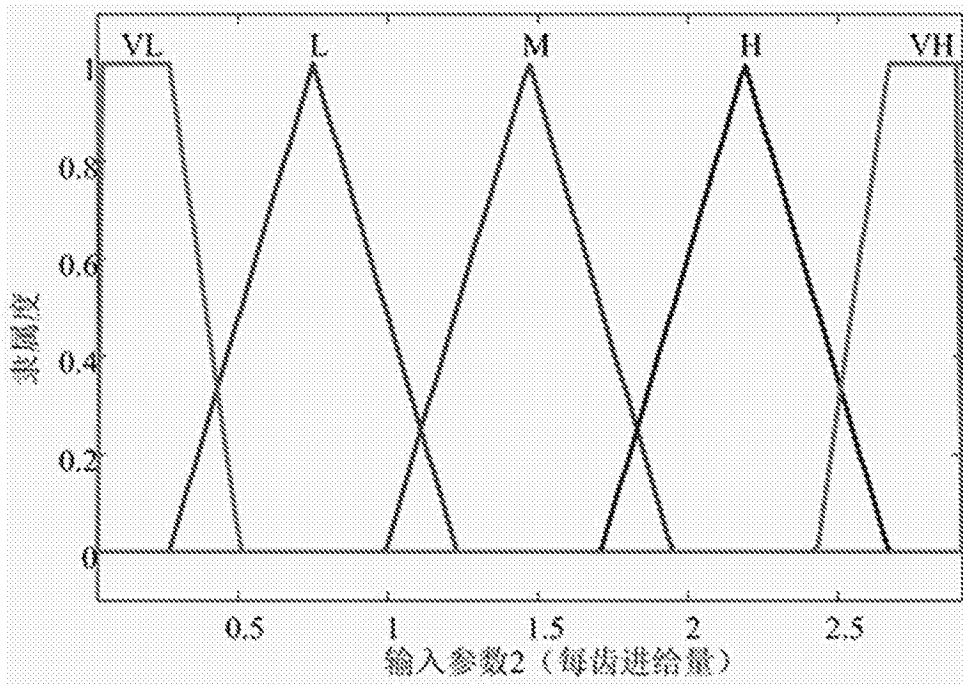


图11

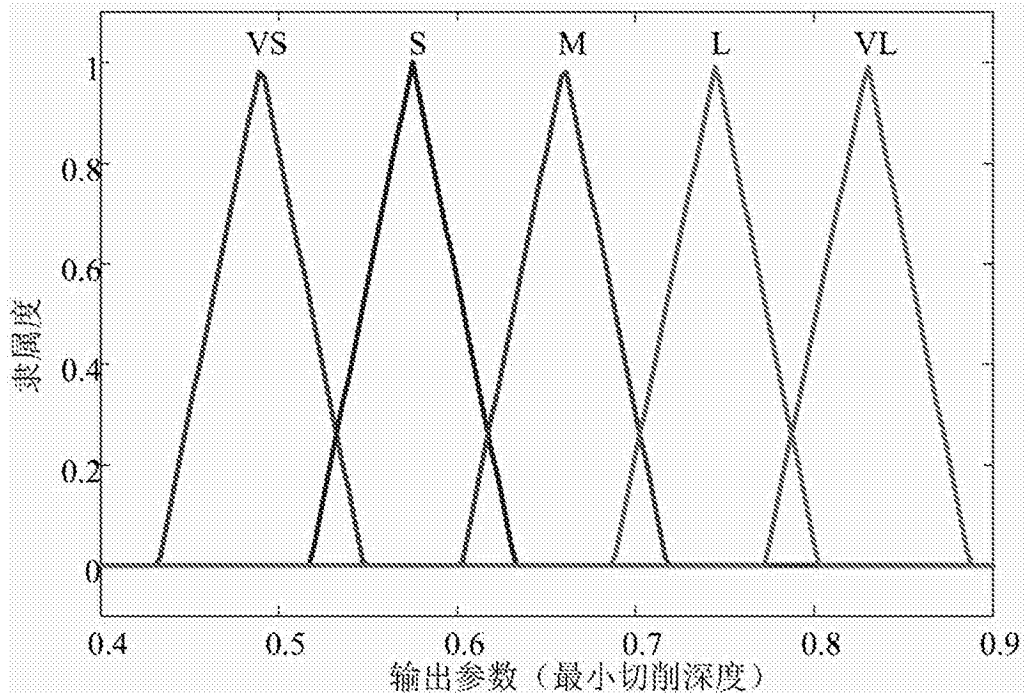


图12

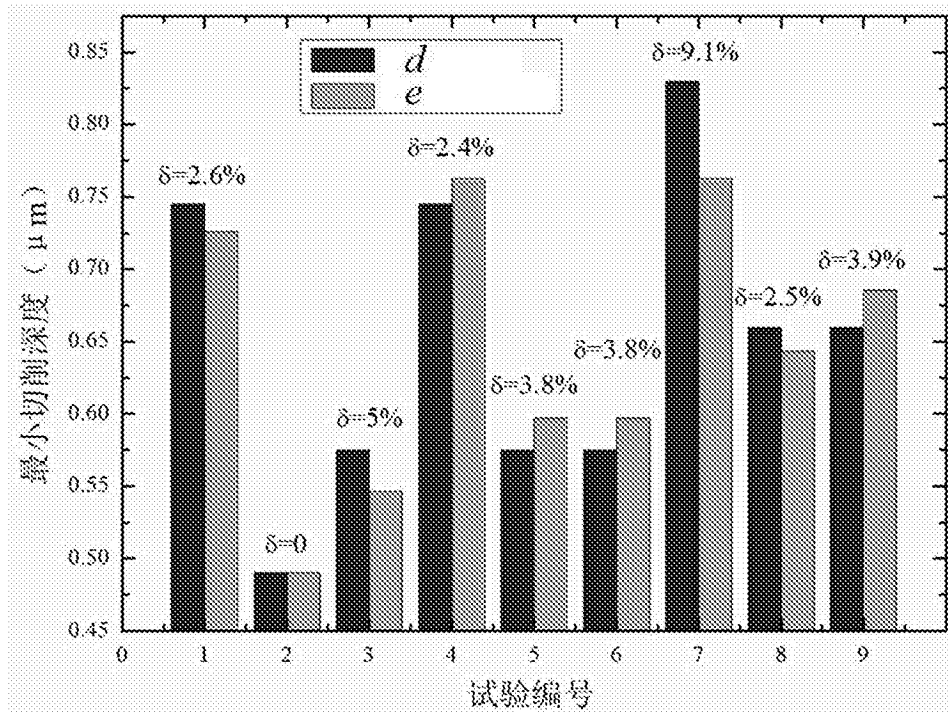


图13

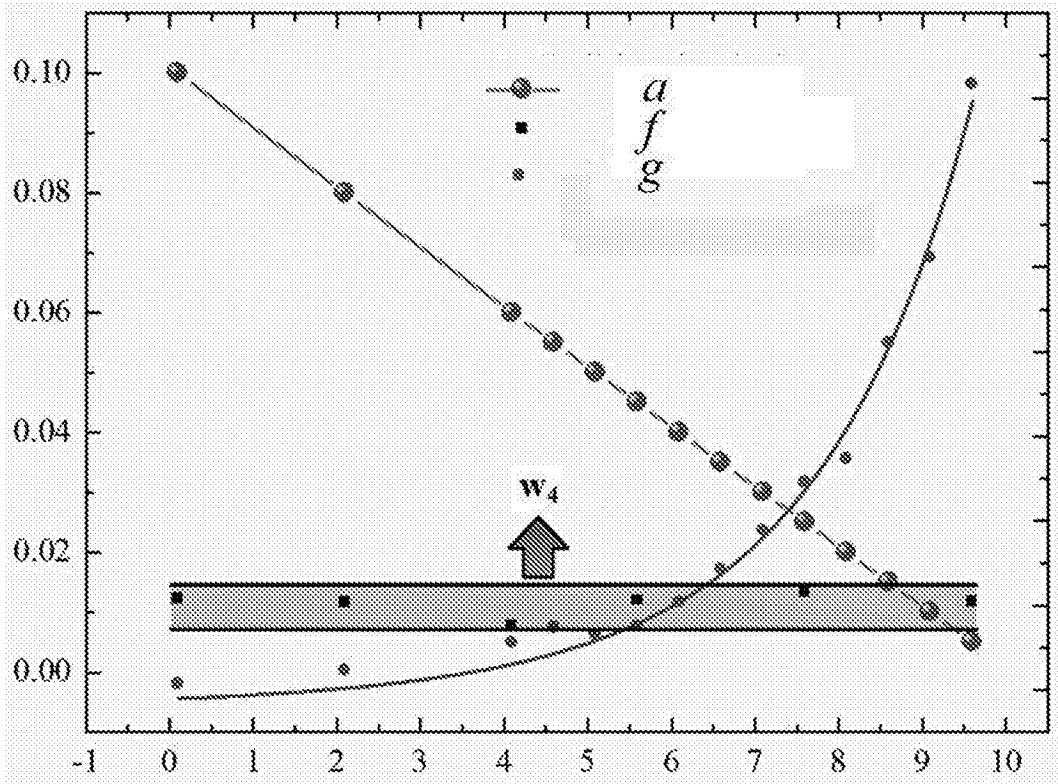


图14

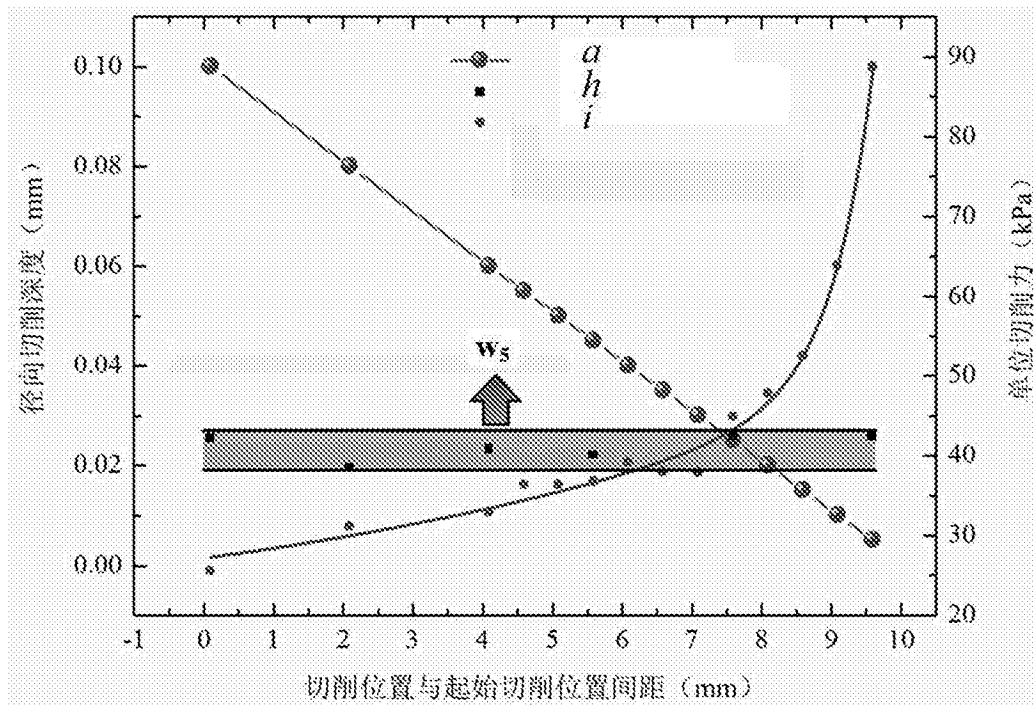


图15

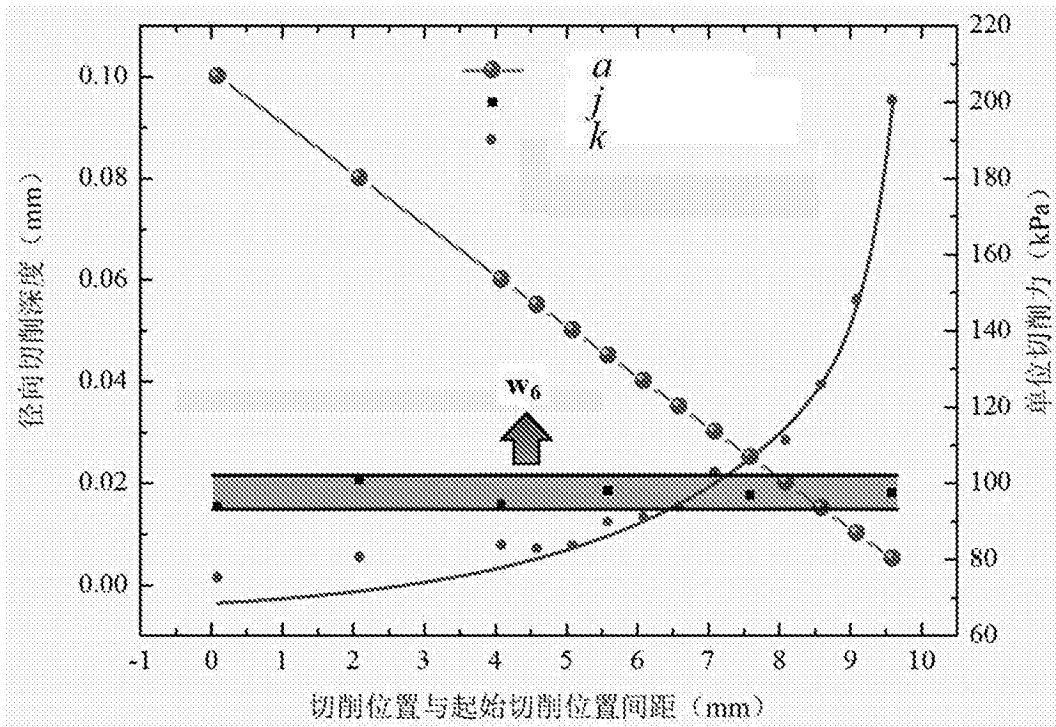


图16

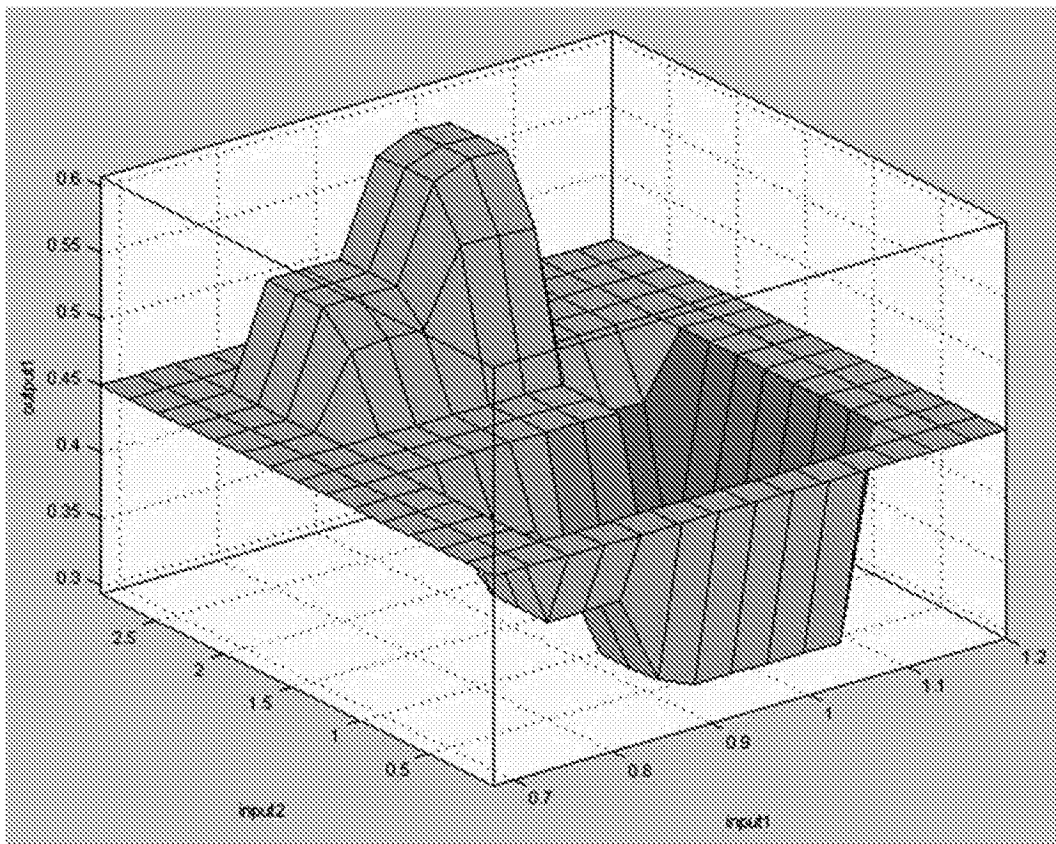


图17