



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106033025 B

(45)授权公告日 2019.02.12

(21)申请号 201510105515.2

(22)申请日 2015.03.11

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106033025 A

(43)申请公布日 2016.10.19

(73)专利权人 香港理工大学
地址 中国香港九龙红磡

(72)发明人 陈增源 李荣彬 李莉华 王孝忠

(74)专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理
有限公司 44217

代理人 郭伟刚

(51)Int.Cl.

G01M 13/00(2006.01)

(56)对比文件

- CN 102528562 A, 2012.07.04,
- CN 102581700 A, 2012.07.18,
- CN 103586740 A, 2014.02.19,
- CN 101804583 A, 2010.08.18,
- CN 102681488 A, 2012.09.19,
- CN 104182620 A, 2014.12.03,
- CN 102501140 A, 2012.06.20,
- CN 101549468 A, 2009.10.07,
- WO 2004/109250 A1, 2004.12.16,
- JP 特开2013-250636 A, 2013.12.12,
- CN 103674511 A, 2014.03.26,

审查员 王凯

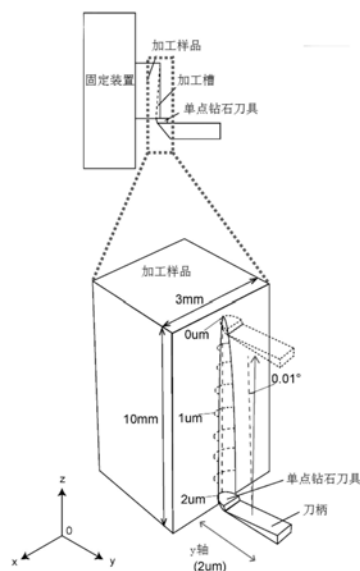
权利要求书4页 说明书15页 附图13页

(54)发明名称

一种刀具磨损监测方法及系统

(57)摘要

一种刀具磨损监测方法及系统,所述方法包括以下步骤:使用刀具在加工样品的加工面上纵切,以形成加工槽;刀具为带有圆刀鼻的单点钻石刀具;获取加工槽的每一个绘图节点的坐标;并通过该加工槽的每一个绘图节点的坐标绘制该加工槽的3D轮廓;并根据该3D轮廓,获取多个加工槽横截面的2D轮廓;测量每一个2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;并分别计算得到每一个2D轮廓所围的实测面积 S_M ;根据多个2D轮廓的实测面积和实测切削深度,绘制 DoC_M 和 $S_M^{2/3}$ 的回归直线,并绘制该回归直线的置信区间;判断每一个2D轮廓的采样点($DoC_M, S_M^{2/3}$)是否处于所述置信区间中,若否,则判断该刀具已被磨损到使用寿命的极限;更换该刀具。本发明的刀具磨损监测方法实用性强和自动化程度高。



1. 一种刀具磨损监测方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1、使用刀具在加工样品的加工面上纵切,以形成加工槽,其中,刀具为带有圆刀鼻的单点钻石刀具;

步骤S2、获取加工槽的每一个绘图节点的坐标;并通过该加工槽的每一个绘图节点的坐标绘制该加工槽的3D轮廓;并根据该3D轮廓,获取多个加工槽横截面的2D轮廓;

步骤S3、测量每一个2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;并分别计算得到每一个2D轮廓所围的实测面积 S_M ;

步骤S4、根据多个2D轮廓的实测面积 S_M 和实测切削深度 DoC_M ,绘制 DoC_M 和 $S_M^{2/3}$ 的回归直线,并绘制该回归直线的置信区间;

步骤S5、判断每一个2D轮廓的采样点($DoC_M, S_M^{2/3}$)是否处于所述置信区间中,若否,则判断该刀具已被磨损到使用寿命的极限;

所述步骤S3还包括测量每一个2D轮廓的实测弦长 AW_M 的步骤;

则实测面积 S_M 为:

$$S_M = DoC_M \times AW_M - \sum_1^{n1} \frac{(x_{m+1} - x_m)(y_{m+1} - y_m)}{2}$$

其中, $n1$ 为2D轮廓的凹线上的绘图节点的总编号; m 为从1到 $n1$ 的自然数变量; x_m 为2D轮廓的凹线上的编号为 m 的绘图节点的x轴坐标, y_m 为2D轮廓的凹线上的编号为 m 的绘图节点的y轴坐标; x_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为 $m+1$ 的绘图节点的x轴坐标, y_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为 $m+1$ 的绘图节点的y轴坐标;

所述步骤S4还包括获取2D轮廓的总编号的步骤,则回归直线的方程为:

$$y_1 = a + bx_1$$

$$\text{其中, } b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2}{(n-2) \times S_{xx}}}$$

$$a = \bar{y}_0 - b\bar{x}_0 \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2 \sum_{i=1}^n x_{0i}^2}{(n-2) \times n \times S_{xx}}}$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_{0i} y_{0i} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} \sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

$$\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$\bar{y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

n为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

x_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测切削深度DoC_M;

$x_{0(i+1)}$ 为编号为i+1的2D轮廓的实测切削深度DoC_M;

y_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

$y_{0(i+1)}$ 为编号为i+1的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

步骤S4还包括获取自由度为(n-2)时的置信区间的T值t的步骤,则回归直线的置信区间为 $[y_1 - t \times P_2, y_1 + t \times P_2]$,其中,

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}{S_{xx}}}$$

$$\text{其中, } P_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_1(x_1 = x_{0i}))^2}{n-2}}$$

$$\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

n为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

x_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测切削深度DoC_M;

y_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

$y_1(x_1 = x_{0i})$ 为在当 $x_1 = x_{0i}$ 时回归方程的y轴坐标;

而t为当自由度为(n-2)时的置信区间的T值;

t根据置信度 α 和n,按照t分布表查找出。

2. 根据权利要求1所述的刀具磨损监测方法,其特征在于,置信区间的置信度 α 采用0.01。

3. 一种刀具磨损监测系统,其特征在于,包括:

驱动模块、用于使刀具在加工样品的加工面上纵切,以形成加工槽,其中,刀具为带有圆刀鼻的单点钻石刀具;

扫描模块、用于获取加工槽的每一个绘图节点的坐标,并通过该加工槽的每一个绘图节点的坐标绘制该加工槽的3D轮廓,并根据该3D轮廓,获取多个加工槽横截面的2D轮廓;

测量模块、用于测量每一个2D轮廓的实测切削深度DoC_M,并分别计算得到每一个2D轮廓所围的实测面积 S_M ;

计算模块、用于根据多个2D轮廓的实测面积 S_M 和实测切削深度DoC_M,绘制DoC_M和 $S_M^{2/3}$ 的

回归直线,并绘制该回归直线的置信区间;

判断模块、判断每一个2D轮廓的采样点($DoC_M, S_M^{2/3}$)是否处于所述置信区间中,若否,则判断该刀具已被磨损到使用寿命的极限;

所述测量模块还用于测量每一个2D轮廓的实测弦长 AW_M ;

则实测面积 S_M 为:

$$S_M = DoC_M \times AW_M - \sum_1^{n1} \frac{(x_{m+1} - x_m)(y_{m+1} - y_m)}{2}$$

其中, $n1$ 为2D轮廓的凹线上的绘图节点的总编号; m 为从1到 $n1$ 的自然数变量; x_m 为2D轮廓的凹线上的编号为 m 的绘图节点的x轴坐标, y_m 为2D轮廓的凹线上的编号为 m 的绘图节点的y轴坐标; x_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为 $m+1$ 的绘图节点的x轴坐标, y_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为 $m+1$ 的绘图节点的y轴坐标;

所述计算模块还用于获取2D轮廓的总编号的步骤,则回归直线的方程为:

$$y_1 = a + bx_1$$

$$\text{其中, } b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2}{(n-2) \times S_{xx}}}$$

$$a = \bar{y}_0 - b\bar{x}_0 \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2 \sum_{i=1}^n x_{0i}^2}{(n-2) \times n \times S_{xx}}}$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_{0i} y_{0i} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} \sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

$$\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$\bar{y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

n 为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

x_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

$x_{0(i+1)}$ 为编号为 $i+1$ 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

y_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

$y_{0(i+1)}$ 为编号为 $i+1$ 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

计算模块还用于获取自由度为 $(n-2)$ 时的置信区间的T值 t ,则回归直线的置信区间为 $[y_1 - t \times P_2, y_1 + t \times P_2]$,其中,

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}{S_{xx}}}$$

$$\text{其中, } P_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_1(x_1 = x_{0i}))^2}{n-2}}$$

$$\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

n 为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

x_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

y_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

$y_1(x_1 = x_{0i})$ 为在当 $x_1 = x_{0i}$ 时回归方程的 y 轴坐标;

而 t 为当自由度为 $(n-2)$ 时的置信区间的 T 值;

t 根据置信度 α 和 n ,按照 t 分布表查找出。

4. 根据权利要求3所述的刀具磨损监测系统,其特征在于,置信区间的置信度 α 采用0.01。

一种刀具磨损监测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及刀具磨损监测领域,尤其涉及一种刀具磨损监测方法及系统。

背景技术

[0002] 为了使用单点钻石刀具来制造微透镜阵列(如复眼等),在没有将单点钻石刀具从刀架上移走时,单点钻石刀具的磨损以及使用寿命需要保持监测。这是因为在通过单点钻石刀具纵切加工槽时,单点钻石刀具是保持与加工槽的配合状态;若单点钻石刀具离开加工槽时,加工槽会发生回弹。而单点钻石刀具的磨损和使用寿命在单点钻石刀具被使用时是很难实时监测的。

发明内容

[0003] 本发明针对现有的单点钻石刀具的磨损和使用寿命在单点钻石刀具被使用时是很难实时监测的问题,提出了一种刀具磨损监测方法及系统。

[0004] 本发明就上述技术问题提出以下技术方案:

[0005] 本发明提出了一种刀具磨损监测方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤S1、使用刀具在加工样品的加工面上纵切,以形成加工槽,其中,刀具为带有圆刀鼻的单点钻石刀具;

[0007] 步骤S2、获取加工槽的每一个绘图节点的坐标;并通过该加工槽的每一个绘图节点的坐标绘制该加工槽的3D轮廓;并根据该3D轮廓,获取多个加工槽横截面的2D轮廓;

[0008] 步骤S3、测量每一个2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;并分别计算得到每一个2D轮廓所围的实测面积 S_M ;

[0009] 步骤S4、根据多个2D轮廓的实测面积 S_M 和实测切削深度 DoC_M ,绘制 DoC_M 和 $S_M^{2/3}$ 的回归直线,并绘制该回归直线的置信区间;

[0010] 步骤S5、判断每一个2D轮廓的采样点(DoC_M , $S_M^{2/3}$)是否处于所述置信区间中,若否,则判断该刀具已被磨损到使用寿命的极限。

[0011] 本发明上述的刀具磨损监测方法中,所述步骤S3还包括测量每一个2D轮廓的实测弦长 AW_M 的步骤;

[0012] 则实测面积 S_M 为:

$$[0013] \quad S_M = DoC_M \times AW_M - \sum_1^{n1} \frac{(x_{m+1} - x_m)(y_{m+1} - y_m)}{2}$$

[0014] 其中, $n1$ 为2D轮廓的凹线上的绘图节点的总编号; m 为从1到 $n1$ 的自然数变量; x_m 为2D轮廓的凹线上的编号为 m 的绘图节点的x轴坐标, y_m 为2D轮廓的凹线上的编号为 m 的绘图节点的y轴坐标; x_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为 $m+1$ 的绘图节点的x轴坐标, y_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为 $m+1$ 的绘图节点的y轴坐标。

[0015] 本发明上述的刀具磨损监测方法中,所述步骤S4还包括获取2D轮廓的总编号的步骤,则回归直线的方程为:

[0016] $y_1 = a + bx_1$

[0017] 其中, $b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2}{(n-2) \times S_{xx}}}$

[0018] $a = \bar{y}_0 - b\bar{x}_0 \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2 \sum_{i=1}^n x_{0i}^2}{(n-2) \times n \times S_{xx}}}$

[0019] $S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$

[0020] $S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_{0i} y_{0i} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} \sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$

[0021] $\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$

[0022] $\bar{y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$

[0023] n为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

[0024] x_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测切削深度 Do_{CM} ;

[0025] $x_{0(i+1)}$ 为编号为i+1的2D轮廓的实测切削深度 Do_{CM} ;

[0026] y_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

[0027] $y_{0(i+1)}$ 为编号为i+1的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$ 。

[0028] 本发明上述的刀具磨损监测方法中,步骤S4还包括获取自由度为(n-2)时的置信区间的T值t的步骤,则回归直线的置信区间为 $[y_1 - t \times P_2, y_1 + t \times P_2]$,其中,

[0029] $P_2 = P_1 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}{S_{xx}}}$

[0030] 其中, $P_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_1(x_1 = x_{0i}))^2}{n-2}}$

[0031] $\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$

$$[0032] \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i} \right)^2}{n}$$

[0033] n为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

[0034] x_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0035] y_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

[0036] $y_1 (x_1 = x_{0i})$ 为在当 $x_1 = x_{0i}$ 时回归方程的y轴坐标;

[0037] 而t为当自由度为(n-2)时的置信区间的T值。

[0038] 本发明上述的刀具磨损监测方法中,置信区间的置信度 α 采用0.01。

[0039] 本发明提出了一种刀具磨损监测系统,包括:

[0040] 驱动模块、用于使刀具在加工样品的加工面上纵切,以形成加工槽,其中,刀具为带有圆刀鼻的单点钻石刀具;

[0041] 扫描模块、用于获取加工槽的每一个绘图节点的坐标,并通过该加工槽的每一个绘图节点的坐标绘制该加工槽的3D轮廓,并根据该3D轮廓,获取多个加工槽横截面的2D轮廓;

[0042] 测量模块、用于测量每一个2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ,并分别计算得到每一个2D轮廓所围的实测面积 S_M ;

[0043] 计算模块、用于根据多个2D轮廓的实测面积 S_M 和实测切削深度 DoC_M ,绘制 DoC_M 和 $S_M^{2/3}$ 的回归直线,并绘制该回归直线的置信区间;

[0044] 判断模块、判断每一个2D轮廓的采样点($DoC_M, S_M^{2/3}$)是否处于所述置信区间中,若否,则判断该刀具已被磨损到使用寿命的极限。

[0045] 本发明上述的刀具磨损监测系统中,所述测量模块还用于测量每一个2D轮廓的实测弦长 AW_M ;

[0046] 则实测面积 S_M 为:

$$[0047] \quad S_M = DoC_M \times AW_M - \sum_1^{n1} \frac{(x_{m+1} - x_m)(y_{m+1} - y_m)}{2}$$

[0048] 其中,n1为2D轮廓的凹线上的绘图节点的总编号;m为从1到n1的自然数变量; x_m 为2D轮廓的凹线上的编号为m的绘图节点的x轴坐标, y_m 为2D轮廓的凹线上的编号为m的绘图节点的y轴坐标; x_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为m+1的绘图节点的x轴坐标, y_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为m+1的绘图节点的y轴坐标。

[0049] 本发明上述的刀具磨损监测系统中,所述计算模块还用于获取2D轮廓的总编号的步骤,则回归直线的方程为:

$$[0050] \quad y_1 = a + bx_1$$

$$[0051] \quad \text{其中, } b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2}{(n-2) \times S_{xx}}}$$

$$[0052] \quad a = \bar{y}_0 - b\bar{x}_0 \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2 \sum_{i=1}^n x_{0i}^2}{(n-2) \times n \times S_{xx}}}$$

$$[0053] \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

$$[0054] \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_{0i} y_{0i} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} \sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

$$[0055] \quad \bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$[0056] \quad \bar{y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

[0057] n 为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

[0058] x_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0059] $x_{0(i+1)}$ 为编号为 $i+1$ 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0060] y_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

[0061] $y_{0(i+1)}$ 为编号为 $i+1$ 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$ 。

[0062] 本发明上述的刀具磨损监测系统中,计算模块还用于获取自由度为 $(n-2)$ 时的置信区间的 T 值 t ,则回归直线的置信区间为 $[y_1 - t \times P_2, y_1 + t \times P_2]$,其中,

$$[0063] \quad P_2 = P_1 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}{S_{xx}}}$$

$$[0064] \quad \text{其中, } P_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_1(x_1 = x_{0i}))^2}{n-2}}$$

$$[0065] \quad \bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$[0066] \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

[0067] n 为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

[0068] x_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

- [0069] y_{0i} 为编号为*i*的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$ ；
- [0070] $y_1(x_1=x_{0i})$ 为在当 $x_1=x_{0i}$ 时回归方程的*y*轴坐标；
- [0071] 而*t*为当自由度为(*n*-2)时的置信区间的*T*值。
- [0072] 本发明上述的刀具磨损监测系统中,置信区间的置信度 α 采用0.01。
- [0073] 本发明的刀具磨损监测方法就是通过实测刀鼻半径的离散来判断单点钻石刀具什么时候需要被更换。本发明的刀具磨损监测方法能够做到对单点钻石刀具的磨损和使用寿命做到实时监测,实用性强和自动化程度高。

附图说明

- [0074] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:
- [0075] 图1为加工样品的加工槽的横截面的示意图;
- [0076] 图2为加工槽的横截面的面积和凹线长度的计算示意图;
- [0077] 图3为本发明的加工样品的加工槽的加工示意图;
- [0078] 图4为通过移相干涉测量模式测量加工槽的尺寸的示意图;
- [0079] 图5为由PSI模式测量的加工槽的3D轮廓的示意图;
- [0080] 图6为从加工槽的3D轮廓中选出的加工槽的横截面的2D轮廓的示意图;
- [0081] 图7为非接触式光学分析系统的计算过程的流程图;
- [0082] 图8为 $S_M^{2/3}$ 和 DoC_M 的关系的示意图;
- [0083] 图9为当实测切削深度 DoC_M 与实测刀鼻半径 R_M 的比例在1000到5000之间时的放大1000倍的2D轮廓的第一示意图;
- [0084] 图10为当实测切削深度 DoC_M 与实测刀鼻半径 R_M 的比例在1000到5000之间时的放大1000倍的2D轮廓的第二示意图;
- [0085] 图11为当实测切削深度 DoC_M 与实测刀鼻半径 R_M 的比例在1000到5000之间时的放大1000倍的2D轮廓的第三示意图;
- [0086] 图12为当实测切削深度 DoC_M 与实测刀鼻半径 R_M 的比例在1000到5000之间时的放大1000倍的2D轮廓的第四示意图;
- [0087] 图13为加工槽的实测切削深度 DoC_M 为0.03235 μm 时的2D轮廓的示意图;
- [0088] 图14为加工槽的实测切削深度 DoC_M 为0.1 μm 时的2D轮廓的示意图;
- [0089] 图15为加工槽的实测切削深度 DoC_M 为0.2 μm 时的2D轮廓的示意图;
- [0090] 图16为加工槽的实测切削深度 DoC_M 为0.3 μm 时的2D轮廓的示意图;
- [0091] 图17为加工槽的实测切削深度 DoC_M 为0.4 μm 时的2D轮廓的示意图;
- [0092] 图18为加工槽的实测切削深度 DoC_M 为0.5 μm 时的2D轮廓的示意图;
- [0093] 图19为当加工槽的实测切削深度 DoC_M 为1 μm 时实测刀鼻半径 R_M 的变化示意图;
- [0094] 图20为当加工槽的实测切削深度 DoC_M 处于0.75 μm 与1.5 μm 时时实测刀鼻半径 R_M 的一个变化示意图;
- [0095] 图21为当加工槽的实测切削深度 DoC_M 处于0.75 μm 与1.5 μm 时时实测刀鼻半径 R_M 的另一个变化示意图;
- [0096] 图22为加工槽的40个2D轮廓的集合图;

[0097] 图23为当加工槽的实测切削深度 DoC_M 超过 $1.5\mu\text{m}$ 时,单点钻石刀具的划动方向和加工样品的加工面的微动损伤会发生回弹的示意图。

具体实施方式

[0098] 本发明提出了一种测量刀具的刀鼻半径(Tool Nose Radius)的方法。这样,通过比较刀具的初始刀鼻半径和实测刀鼻半径,就可以监测刀具的刀具磨损(Tool Wear)。

[0099] 刀具的刀鼻半径的计算模型

[0100] 本发明的技术原理是:通过测量加工样品的加工槽的切削深度(Depth of Cut)和弦长,来计算得到刀具的刀鼻半径。这里,加工槽是由刀具切削而成。

[0101] 具体地,刀具为带有圆刀鼻的单点钻石刀具(Single Point Diamond Tool);本发明的刀鼻半径的测量方法是基于采用单点钻石刀具所完成的纵切试验实现的。

[0102] 参照图1,图1示出了加工样品的加工槽的横截面的示意图。

[0103] 如图1所示,区域BCED为加工样品的加工槽的横截面;弧BDE为加工槽的横截面的凹线;线OB为单点钻石刀具的刀鼻半径; $\angle BOE = \theta$;点 D_r 为在切削前加工槽的预设最低点;点D为在切削后加工槽的最低点;

[0104] 这样,预设切削深度为 D_rC ,实测切削深度为DC。

[0105] 参照图2,图2为加工槽的横截面的面积和凹线长度的计算示意图。图2所示的参数的定义如表1所示。

[0106] 表1

[0107]

符号	定义
S	加工槽的横截面 BCED 的面积
AL	加工槽的凹线 BDE 的弧长
DoC	加工槽的切削深度 (如 CD)
AW	加工槽的弦长 (如 BE)
R	单点钻石刀具的刀鼻半径 (如 OB)
(x_B, y_B)	点 B 的坐标
(x_C, y_C)	点 C 的坐标
(x_D, y_D)	点 D 的坐标
(x_E, y_E)	点 E 的坐标

[0108] 根据平面几何知识,加工槽的横截面BCED的理论面积 S_T 为:

$$[0109] \quad S_T = \frac{R^2\theta}{2} - \frac{R^2 \sin\theta}{2} = \frac{R^2}{2} (\theta - (\theta - \theta^3/6)) = \frac{R^2\theta^3}{12} \quad (1)$$

[0110] 根据微积分知识,加工槽的横截面BCED的实测面积 S_M 等于矩形BFME的面积减去异形BFMED的面积,即:

$$[0111] \quad S_M = DoC_M \times AW_M - \sum_1^{n1} \frac{(x_{m+1} - x_m)(y_{m+1} - y_m)}{2} \quad (2)$$

[0112] 这里, n_1 为加工槽的凹线BDE上的点的总编号; m 为从1到 n_1 中任意一个编号; x_m 为加工槽的凹线BDE上的编号为 m 的点的x轴坐标, y_m 为加工槽的凹线BDE上的编号为 m 的点的y轴坐标。

[0113] DoC_M 为加工槽的实测切削深度; AW_M 为加工槽的实测弦长;

[0114] 进一步地, 根据平面几何知识, 加工槽的凹线BDE的理论弧长 AL_T 为:

$$[0115] \quad AL_T = R\theta \quad (3)$$

[0116] 而根据微积分知识, 加工槽的凹线BDE的实测弧长 AL_M 为:

$$[0117] \quad AL_M = \sum_1^{n_1} \sqrt{(x_{m+1} - x_m)^2 + (y_{m+1} - y_m)^2} \quad (4)$$

[0118] 这里, 这里, x 和 y 分别表示加工槽的凹线BDE上点的x坐标和y坐标; n_1 为加工槽的凹线BDE上的点的总编号; m 为从1到 n_1 中任意一个编号;

[0119] 进一步地, 根据平面几何知识, 加工槽的理论切削深度 DoC_T 为:

$$[0120] \quad DoC_T = \frac{R\theta^2}{8} \quad (5)$$

[0121] 加工槽的实测切削深度 DoC_M 为:

$$[0122] \quad DoC_M = CD = y_C - y_D \quad (6)$$

[0123] 根据平面几何知识, 加工槽的理论弦长 AW_T 为:

$$[0124] \quad AW_T = 2R \sin \frac{\theta}{2} \quad (7)$$

[0125] 加工槽的实测弦长 AW_M 为:

$$[0126] \quad AW_M = BE = x_B - x_E \quad (8)$$

[0127] 在式(1) - (8)中, S_M 、 AL_M 、 DoC_M 以及 AW_M 都可以通过实际测量得到。

[0128] 如果我们假设 $S_T = S_M$, $DoC_T = DoC_M$, 则根据式(1)和(5), 有:

$$[0129] \quad R = \frac{9}{32} \left(\frac{S_T^{2/3}}{DoC_T} \right)^3 = \frac{9}{32} \left(\frac{S_M^{2/3}}{DoC_M} \right)^3 \quad (9)$$

[0130] 纵切试验

[0131] 本发明采用四轴联动数控超精密机床(Four-axis CNC Ultra-precision Machine, 由美国的穆尔纳米技术公司生产, 型号为Nanotech 350FG), 参照图3, 图3示出了本发明的加工样品的加工槽的加工示意图。其中, 加工样品被固定在固定装置的侧面上, 这里, 固定装置呈柱状。然后, 采用四轴联动数控超精密机床控制单点钻石刀具对加工样品进行纵切, 从而在加工样品上开设加工槽。伴随着单点钻石刀具对加工样品的加工, 加工槽的实测切削深度从0慢慢增大到 $2\mu\text{m}$, 而单点钻石刀具偏离垂直方向的角度始终保持 0.01° 。在本试验中, 加工样品的材料选用6061铝合金, 其尺寸为 $10\text{mm} \times 3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 。

[0132] 在进行纵切试验之前, 加工样品的加工面朝着四轴联动数控超精密机床放平。纵切试验的参数见表2所示。具体地, 单点钻石刀具的真实刀鼻半径为 2.48mm , 润滑油为普通的机油。在进行纵切试验之前, 单点钻石刀具放置在加工样品下方 5mm 处, 并且, 单点钻石刀具与加工样品的加工面的垂直距离为 $-3\mu\text{m}$ 。如图3所示, 在进行纵切试验时, 单点钻石刀具

以600mm/min的进刀速度沿z轴方向走刀15mm,同时沿y轴方向走刀3 μ m。这样,通过上述进刀方式,在加工样品上,一个切削深度从0到2 μ m变化、延伸长度为10mm的加工槽就加工完成。

[0133] 表2

参数	数值
进刀速度(mm/min)	600
[0134] 切削深度(μ m)	0-2
初始刀鼻半径 (mm)	2.48
刀具倾角 (degree)	0
[0135] 前隙角(degree)	15

[0136] 在完成纵切试验后,加工槽的尺寸会通过非接触式光学分析系统 (Non-contact Optical Profiling System, Wyko NT8000) 来测量;在测量时,光学分析系统会对加工槽的形貌放大 20倍。

[0137] 加工槽的具体测量参数被列于表3中;其中,20 \times 光学透镜采用0.4的数值孔径,4.7mm 的焦距以及0.75 μ m的光学分辨率。

[0138] 表3

参数	数值
放大倍数	20 \times
数值光圈	0.4
焦距 (mm)	4.7
光学分辨率 (μ m)	0.75
PSI 模式的分辨率(pixels)	640 \times 480
[0139] 抽样长度 (nm)	480
PSI 模式精度(x 轴和 y 轴) (nm)	90
PSI 模式精度(z 轴)(nm)	1
3D 轮廓的分辨率(pixel)	660 \times 22000
总测量范围(mm)	0.32 \times 11
PSI 模式的测量范围(μ m)	0.309 \times 0.231
加工槽的延伸长度 (mm)	10
2D 轮廓的数目	40

[0140] 为了分析加工槽尺寸的测量结果,本发明采用移相干涉测量 (Phase Shifting Interferometry, 简称PSI) 模式来测量加工槽的尺寸,而加工槽的尺寸的测量精度达到1nm,如图4所示。

[0141] 然后,通过采用非接触式光学分析系统的直接递送媒体 (Through Transmissive Media, TTM) 模式,由PSI模式测量的加工槽的每个点的3D数据将组合成一个完整的3D轮廓。该3D轮廓的分辨率大概为660 \times 22000 (pixels),抽样长度大概为480nm,如图5所示。

[0142] 最后,如图6所示,加工槽的横截面的2D轮廓能够从加工槽的3D轮廓中选出来,为进一步的数据分析做准备。这里,加工槽的2D轮廓总共有40个。

[0143] 在图6中,加工槽的实测切削深度 DoC_M 等于加工槽 y 值的最大值与最小值之差,即式(6);加工槽的实测弦长 AW_M 等于图2所示的线BE的长度,即式(8);加工槽的横截面的实测面积 S_M 由式(2)算出;加工槽的凹线的实测弧长 AL_M 由式(4)算出;这样,根据式(2)、(4)、(6)和(8), S_M 、 AL_M 、 DoC_M 以及 AW_M 都能通过非接触式光学分析系统计算得到。

[0144] 图7示出了非接触式光学分析系统的计算过程的流程图。

[0145] 在该流程图中, $\overline{x_0}, \overline{y_0}, n, S_{xx}, S_{xy}$ 首先根据式(10)-(13)以及输入参数 $x_{0i} = DoC_M$ 和 $y_{0i} = S_M$ 计算得到。这里, n 为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数,也即2D轮廓的个数;

$$[0146] \quad \overline{x_0} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n} \quad (10)$$

$$[0147] \quad \overline{y_0} = \frac{\sum_{i=1}^n y_{0i}}{n} \quad (11)$$

$$[0148] \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n} \quad (12)$$

$$[0149] \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_{0i} y_{0i} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} \sum_{i=1}^n y_{0i}}{n} \quad (13)$$

[0150] x_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0151] y_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

[0152] 然后根据式(14)和(15)计算 a, b ;在式子(14)和(15)中, t 为置信因子,能够根据置信度 α (这里, $\alpha = 0.01$,可以理解,置信度 α 可以根据加工样品材料的不同而进行确定,还可以采用0.05或者其他值)和 n (自由度加上2),按照 t 分布表查找出。

$$[0153] \quad b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2}{(n-2) \times S_{xx}}} \quad (14)$$

$$[0154] \quad a = \overline{y_0} - b \overline{x_0} \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2 \sum_{i=1}^n x_{0i}^2}{(n-2) \times n \times S_{xx}}} \quad (15)$$

[0155] $x_{0(i+1)}$ 为编号为 $i+1$ 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0156] $y_{0(i+1)}$ 为编号为 $i+1$ 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$ 。

[0157] 这里, b 为回归直线的斜率,而 a 为回归直线在 y 轴上的截距。因此,回归直线能用式(16)表示:

[0158] $y_1 = a + bx_1$ (16)

[0159] 线性回归的残差标准偏差 P_1 通过式(17)计算得到:

[0160]
$$P_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_1(x_1 = x_{0i}))^2}{n-2}}$$
 (17)

[0161] 然后,置信界限 P_2 和预测界限 P_3 的参数根据式(18)和(19)计算得到:

[0162]
$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}{S_{xx}}}$$
 (18)

[0163]
$$P_3 = P_1 \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}{S_{xx}}}$$
 (19)

[0164] 这样,置信界限直线和预测界限直线便可以通过式(20)和(21)表示:

[0165] $y_2 = y_1 \pm t \times P_2$ (20)

[0166] $y_3 = y_1 \pm t \times P_3$ (21)

[0167] $y_1(x_1 = x_{0i})$ 为在当 $x_1 = x_{0i}$ 时回归方程的y轴坐标;

[0168] 而t为当自由度为(n-2)时的置信区间的T值。

[0169] 非接触式光学分析系统的主要用于找到符合的回归直线,并计算置信界限和预测界限。在非接触式光学分析系统的输出结果中,40组的2D轮廓的数据及其回归直线都被绘制出来。并且,99%的置信界限直线和99%预测界限直线也会绘制出来。

[0170] 试验结果及讨论

[0171] 根据非接触式光学分析系统计算得到的数据, $S_M^{2/3}$ 和DoC_M的关系被绘制出来,如图8所示。

[0172] 在图8中, $S_M^{2/3}$ 为y轴,实测切削深度DoC_M为x轴。

[0173] 表4列出了非接触式光学分析系统计算得到的处理结果。

[0174] 表4

项目	结果
回归直线的斜率 (b)	20.73±0.08
回归直线在 y 轴上的截距(a)	0.22±0.09
[0175] 线性回归的残差标准偏差 (P_1)	0.11
置信区间 (α)	99%
T 值 (t)	2.71
自由度 ($n-2$)	38

[0176] 根据表4的结果,通过式(9),单点钻石刀具的实测刀鼻半径 R_M 就被计算出来,为2.50mm。

[0177] 图9-12分别绘制了当实测切削深度 D_{oC_M} 与实测刀鼻半径 R_M 的比例在1000到5000之间时的放大1000倍的2D轮廓的示意图。

[0178] 如果对单点钻石刀具进行更为周到的设计时,则该单点钻石刀具能够对加工样品进行切削,使该加工样品的加工槽的实测切削深度 D_{oC_M} 慢慢达到 $0.5\mu\text{m}$ 。此时,会出现两个问题;如图13-18所示,问题(1)是:加工槽的实测弧长 AL_M 被扩宽,这里,在图13-18中,最右边的Z表示加工槽的实测切削深度 D_{oC_M} ;问题(2)是:加工样品的加工面起皱。这两个问题都是由对加工样品的加工面加工时表面张力引起的。

[0179] 当加工槽的实测切削深度 D_{oC_M} 从 $0.5\mu\text{m}$ 增大到 $1\mu\text{m}$ 时,问题(1)和(2)不太明显,但会影响实测刀鼻半径 R_M 的准确性,如图19所示。

[0180] 当加工槽的实测切削深度 D_{oC_M} 处于 $0.75\mu\text{m}$ 与 $1.5\mu\text{m}$ 时,加工槽是具有最理想的切削效果,如图20和图21所示。

[0181] 当加工槽的实测切削深度 D_{oC_M} 超过 $1.5\mu\text{m}$ 时,单点钻石刀具的划动方向和加工样品的加工面的微动损伤会发生回弹,此时,加工样品的额外部分会被刮掉,如图22所示。此时,实测刀鼻半径 R_M 的测量精度会受到影响,如图23所示。

[0182] 问题(1)会导致加工槽的横截面的实测面积 S_M 的低估,而问题(2)会导致加工槽的横截面的实测面积 S_M 的高估。基于图8所示的线性结果,上述两个问题所造成的效果会相互抵消。图8暗示了加工面的微动损伤与回弹力的相关性。

[0183] 图22示出了加工槽的40个2D轮廓的集合图。在图22中,我们可以发现,加工槽的2D轮廓的底部是平的(这是由于回弹力导致的),加工槽的2D轮廓的侧面边缘是紊乱的(这是由于附着磨损导致的)。

[0184] 基于对加工槽的2D轮廓的侧面边缘、单点钻石刀具的状态的微观分析,可以发现,刀具磨损并没有发生。图23中示出的方框1所表示的靠近刀鼻的紊乱侧面边缘能够被看作是纳米硬质刀具磨损的前兆。就这一点而言,紊乱侧面边缘将被作为刀具磨损监测的目标。然而,这种刀具磨损监测方式比较草率。因为紊乱侧面边缘是随机发生的,其累计的净效应会诱导多次实测刀鼻半径的离散。而这种离散会扩大置信界限和预测界限。从四轴联动数控超精密机床的角度来看,当实测刀鼻半径的严重离散导致加工形状错误,单点钻石刀具会接近其使用寿命的极限。单点钻石刀具在其破损之前,无论失去了多少边缘锐度,都需要被更换。本发明的方法就是通过实测刀鼻半径的离散来判断单点钻石刀具什么时候需要被更换。

[0185] 基于上述试验和计算,本发明提供了一种刀具磨损监测方法,包括以下步骤:

[0186] 步骤S1、使用刀具在加工样品的加工面上纵切,以形成加工槽,其中,刀具为带有圆刀鼻的单点钻石刀具;

[0187] 步骤S2、获取加工槽的每一个绘图节点的坐标;并通过该加工槽的每一个绘图节点的坐标绘制该加工槽的3D轮廓;并根据该3D轮廓,获取多个加工槽横截面的2D轮廓;

[0188] 步骤S3、测量每一个2D轮廓的实测切削深度 D_{oC_M} ;并分别计算得到每一个2D轮廓所围的实测面积 S_M ;

[0189] 所述步骤S3还包括测量每一个2D轮廓的实测弦长 AW_M 的步骤;

[0190] 则实测面积 S_M 为:

$$[0191] \quad S_M = DoC_M \times AW_M - \sum_1^{n1} \frac{(x_{m+1} - x_m)(y_{m+1} - y_m)}{2}$$

[0192] 其中, n1为2D轮廓的凹线上的绘图节点的总编号; m为从1到n1的自然数变量; x_m 为2D轮廓的凹线上的编号为m的绘图节点的x轴坐标, y_m 为2D轮廓的凹线上的编号为 m的绘图节点的y轴坐标; x_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为m+1的绘图节点的x轴坐标, y_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为m+1的绘图节点的y轴坐标。

[0193] 步骤S4、根据多个2D轮廓的实测面积 S_M 和实测切削深度 DoC_M , 绘制 DoC_M 和 $S_M^{2/3}$ 的回归直线, 并绘制该回归直线的置信区间;

[0194] 步骤S4还包括获取2D轮廓的总编号的步骤, 则回归直线的方程为:

$$[0195] \quad y_1 = a + bx_1$$

$$[0196] \quad \text{其中, } b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2}{(n-2) \times S_{xx}}}$$

$$[0197] \quad a = \bar{y}_0 - b\bar{x}_0 \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2 \sum_{i=1}^n x_{0i}^2}{(n-2) \times n \times S_{xx}}}$$

$$[0198] \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

$$[0199] \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_{0i} y_{0i} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} \sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

$$[0200] \quad \bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$[0201] \quad \bar{y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

[0202] n为2D轮廓的总编号, 也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

[0203] x_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0204] $x_{0(i+1)}$ 为编号为i+1的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0205] y_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

[0206] $y_{0(i+1)}$ 为编号为i+1的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$ 。

[0207] 进一步地, 步骤S4还包括获取自由度为(n-2)时的置信区间的T值t的步骤, 则回归直线的置信区间为 $[y_1 - t \times P_2, y_1 + t \times P_2]$, 其中,

$$[0208] \quad P_2 = P_1 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}{S_{xx}}}$$

$$[0209] \quad \text{其中, } P_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_1(x_1 = x_{0i}))^2}{n-2}}$$

$$[0210] \quad \bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$[0211] \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

[0212] n为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

[0213] x_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0214] y_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

[0215] $y_1(x_1 = x_{0i})$ 为在当 $x_1 = x_{0i}$ 时回归方程的y轴坐标;

[0216] 而t为当自由度为(n-2)时的置信区间的T值。

[0217] 优选地,置信区间的置信度 α 采用0.01。可以理解,置信度 α 可以根据加工样品材料的不同而进行确定,还可以采用0.05或者其他值。

[0218] 步骤S5、判断每一个2D轮廓的采样点($DoC_M, S_M^{2/3}$)是否处于所述置信区间中,若否,则判断该刀具已被磨损到使用寿命的极限;

[0219] 步骤S6、更换该刀具。

[0220] 与监测方法对应的,本发明还提出了一种刀具磨损监测系统,包括:

[0221] 驱动模块、用于使刀具在加工样品的加工面上纵切,以形成加工槽,其中,刀具为带有圆刀鼻的单点钻石刀具;

[0222] 扫描模块、用于获取加工槽的每一个绘图节点的坐标,并通过该加工槽的每一个绘图节点的坐标绘制该加工槽的3D轮廓,并根据该3D轮廓,获取多个加工槽横截面的2D轮廓;

[0223] 测量模块、用于测量每一个2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ,并分别计算得到每一个2D轮廓所围的实测面积 S_M ;

[0224] 具体地,所述测量模块还用于测量每一个2D轮廓的实测弦长 AW_M ;

[0225] 则实测面积 S_M 为:

$$[0226] \quad S_M = DoC_M \times AW_M - \sum_1^{n1} \frac{(x_{m+1} - x_m)(y_{m+1} - y_m)}{2}$$

[0227] 其中,n1为2D轮廓的凹线上的绘图节点的总编号;m为从1到n1的自然数变量; x_m 为2D轮廓的凹线上的编号为m的绘图节点的x轴坐标, y_m 为2D轮廓的凹线上的编号为m的绘图节点的y轴坐标; x_{m+1} 为2D轮廓的凹线上的编号为m+1的绘图节点的x轴坐标, y_{m+1} 为2D轮廓

的凹线上的编号为 $m+1$ 的绘图节点的 y 轴坐标。

[0228] 计算模块、用于根据多个2D轮廓的实测面积 S_M 和实测切削深度 DoC_M ，绘制 DoC_M 和 $S_M^{2/3}$ 的回归直线，并绘制该回归直线的置信区间；

[0229] 所述计算模块还用于获取2D轮廓的总编号的步骤，则回归直线的方程为：

$$[0230] \quad y_1 = a + bx_1$$

$$[0231] \quad \text{其中, } b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2}{(n-2) \times S_{xx}}}$$

$$[0232] \quad a = \bar{y}_0 - b\bar{x}_0 \pm t \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_{0(i+1)})^2 \sum_{i=1}^n x_{0i}^2}{(n-2) \times n \times S_{xx}}}$$

$$[0233] \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

$$[0234] \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_{0i} y_{0i} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i} \sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

$$[0235] \quad \bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

$$[0236] \quad \bar{y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_{0i}}{n}$$

[0237] n 为2D轮廓的总编号，也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数；

[0238] x_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ；

[0239] $x_{0(i+1)}$ 为编号为 $i+1$ 的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ；

[0240] y_{0i} 为编号为 i 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$ ；

[0241] $y_{0(i+1)}$ 为编号为 $i+1$ 的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$ 。

[0242] 计算模块还用于获取自由度为 $(n-2)$ 时的置信区间的 T 值 t ，则回归直线的置信区间为 $[y_1 - t \times P_2, y_1 + t \times P_2]$ ，其中，

$$[0243] \quad P_2 = P_1 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}{S_{xx}}}$$

[0244] 其中,
$$P_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{0i} - y_1(x_1 = x_{0i}))^2}{n-2}}$$

[0245]
$$\bar{x}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{0i}}{n}$$

[0246]
$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}\right)^2}{n}$$

[0247] n为2D轮廓的总编号,也为 $[x_{0i}, y_{0i}]$ 的数据组数;

[0248] x_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测切削深度 DoC_M ;

[0249] y_{0i} 为编号为i的2D轮廓的实测面积 $S_M^{2/3}$;

[0250] $y_1(x_1 = x_{0i})$ 为在当 $x_1 = x_{0i}$ 时回归方程的y轴坐标;

[0251] 而t为当自由度为(n-2)时的置信区间的T值。

[0252] 置信区间的置信度 α 采用0.01。可以理解,置信度 α 可以根据加工样品材料的不同而进行确定,还可以采用0.05或者其他值。

[0253] 判断模块、判断每一个2D轮廓的采样点($DoC_M, S_M^{2/3}$)是否处于所述置信区间中,若否,则判断该刀具已被磨损到使用寿命的极限。

[0254] 本发明的刀具磨损监测方法就是通过实测刀鼻半径的离散来判断单点钻石刀具什么时候需要被更换。本发明的刀具磨损监测方法能够做到对单点钻石刀具的磨损和使用寿命做到实时监测,实用性强和自动化程度高。

[0255] 应当理解的是,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

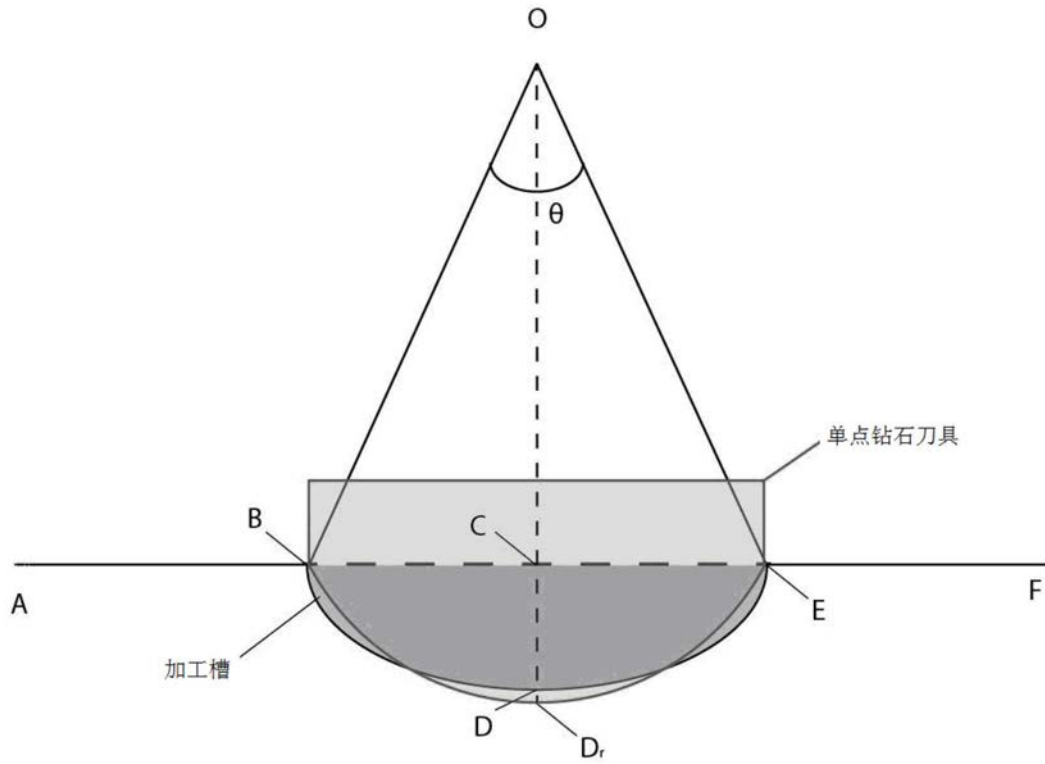


图1

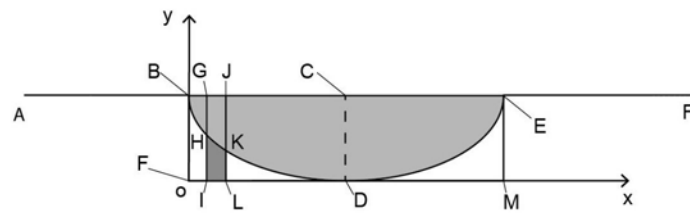


图2

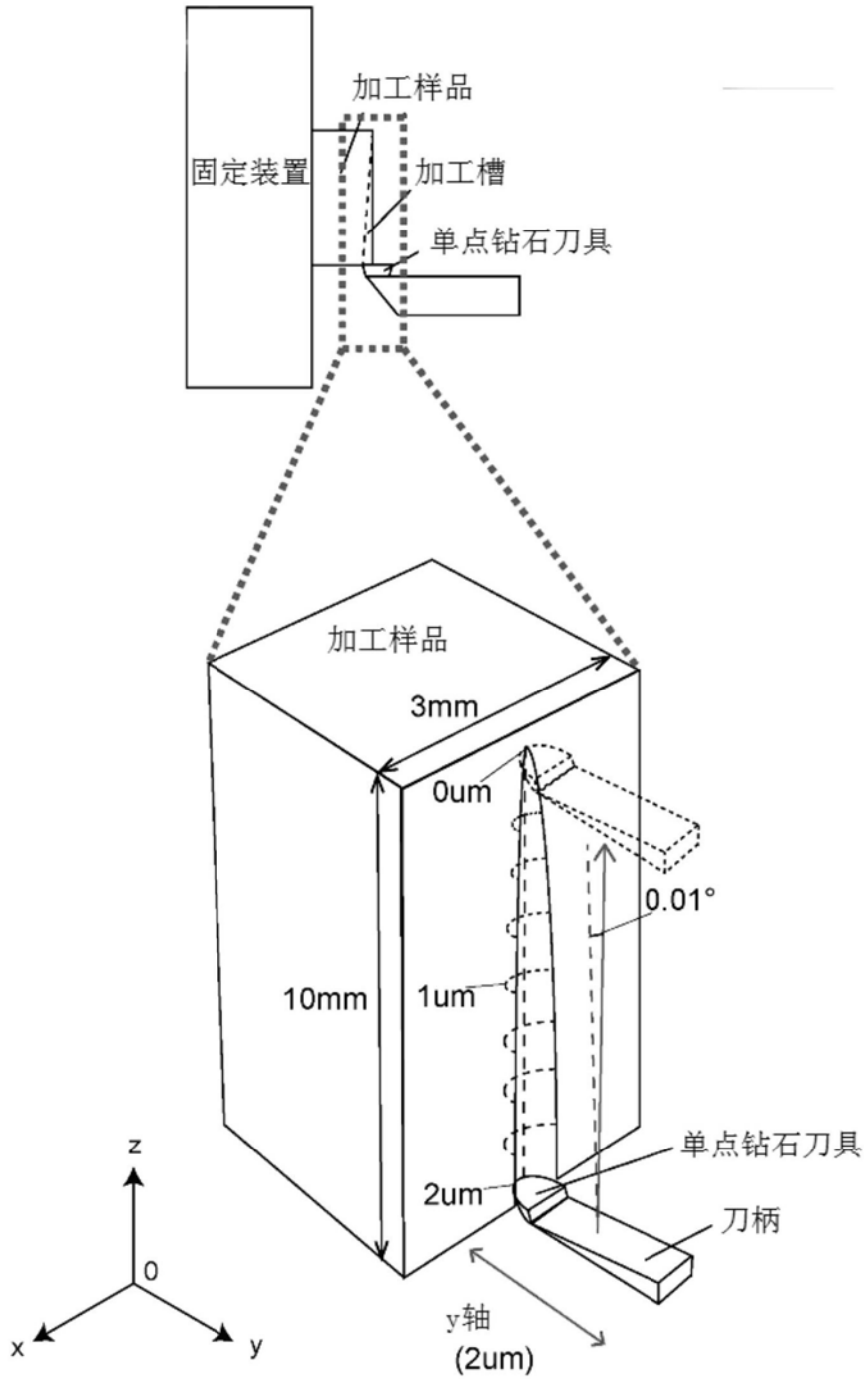


图3

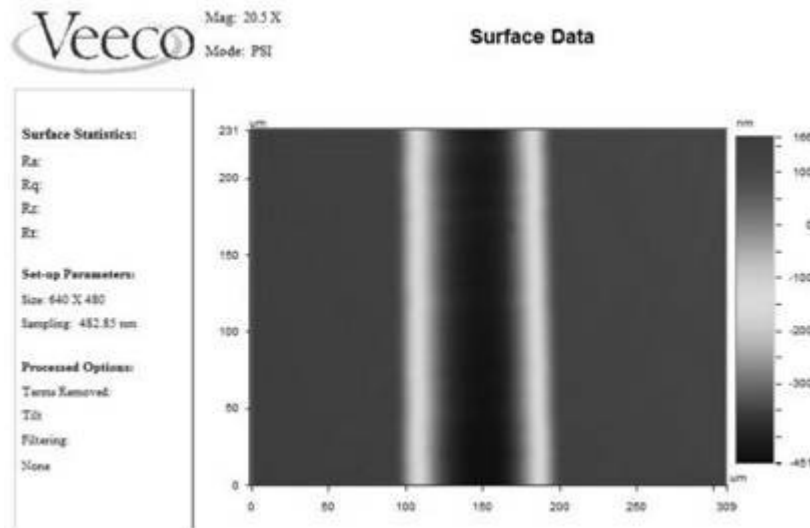


图4

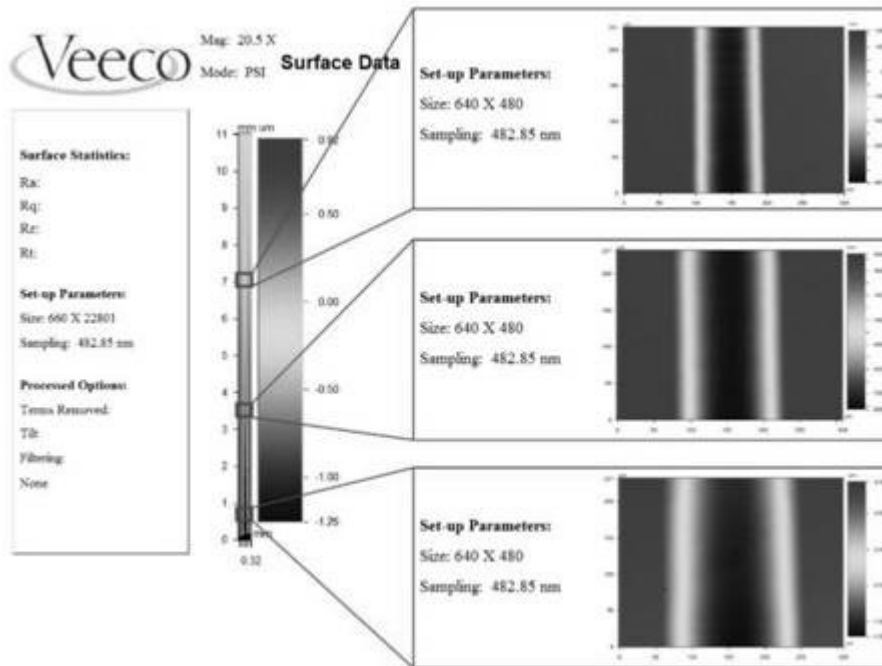


图5

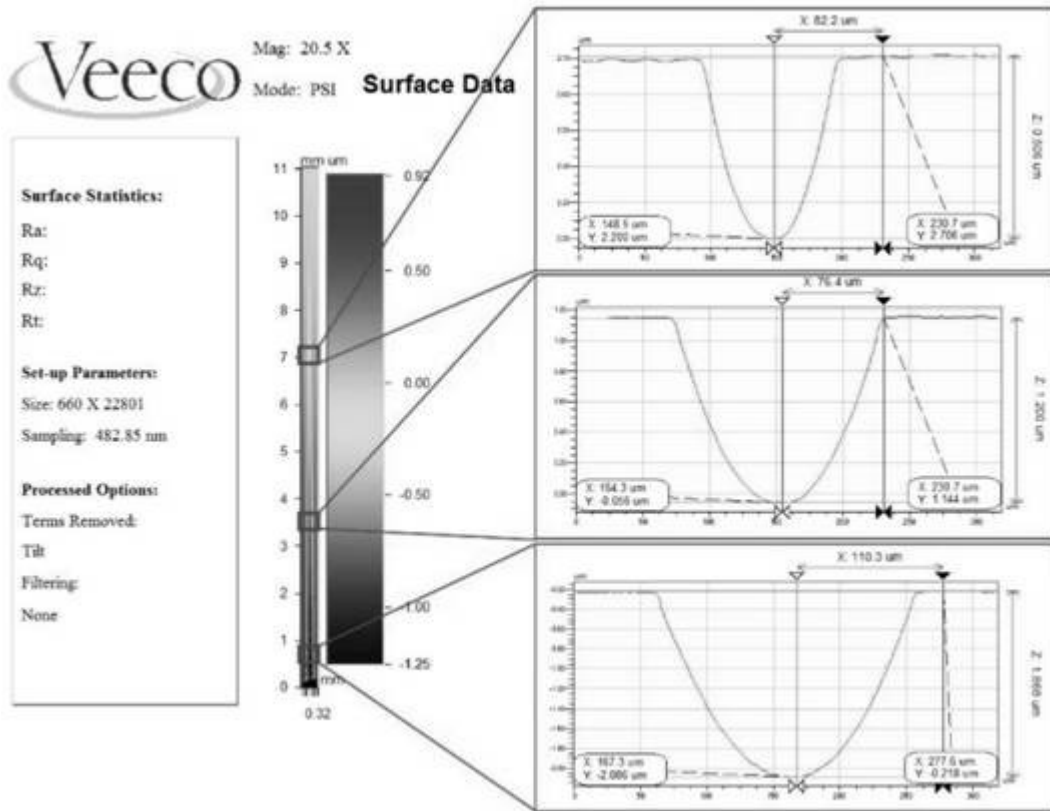


图6

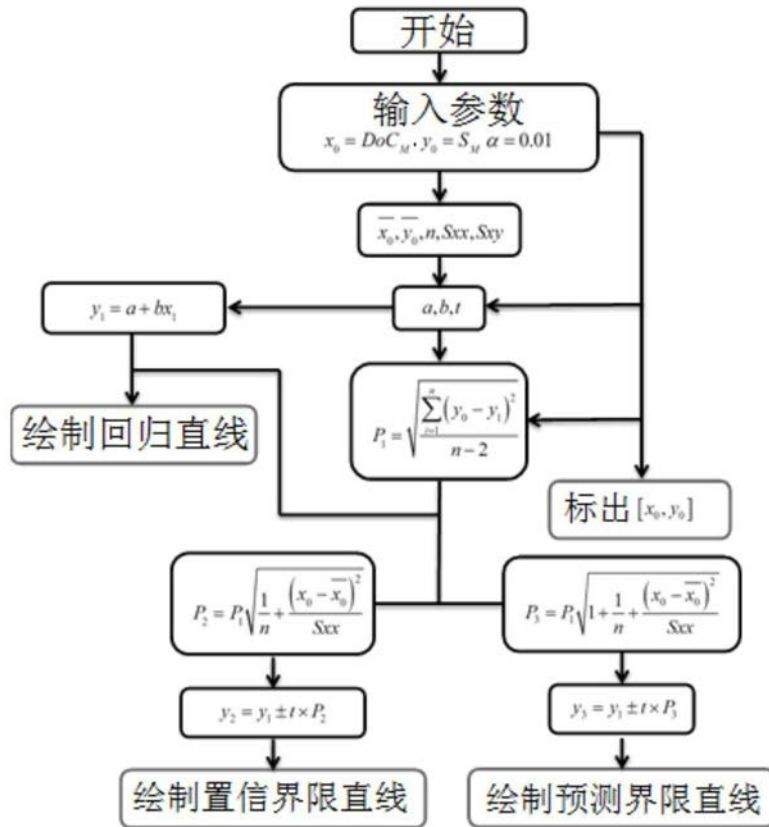


图7

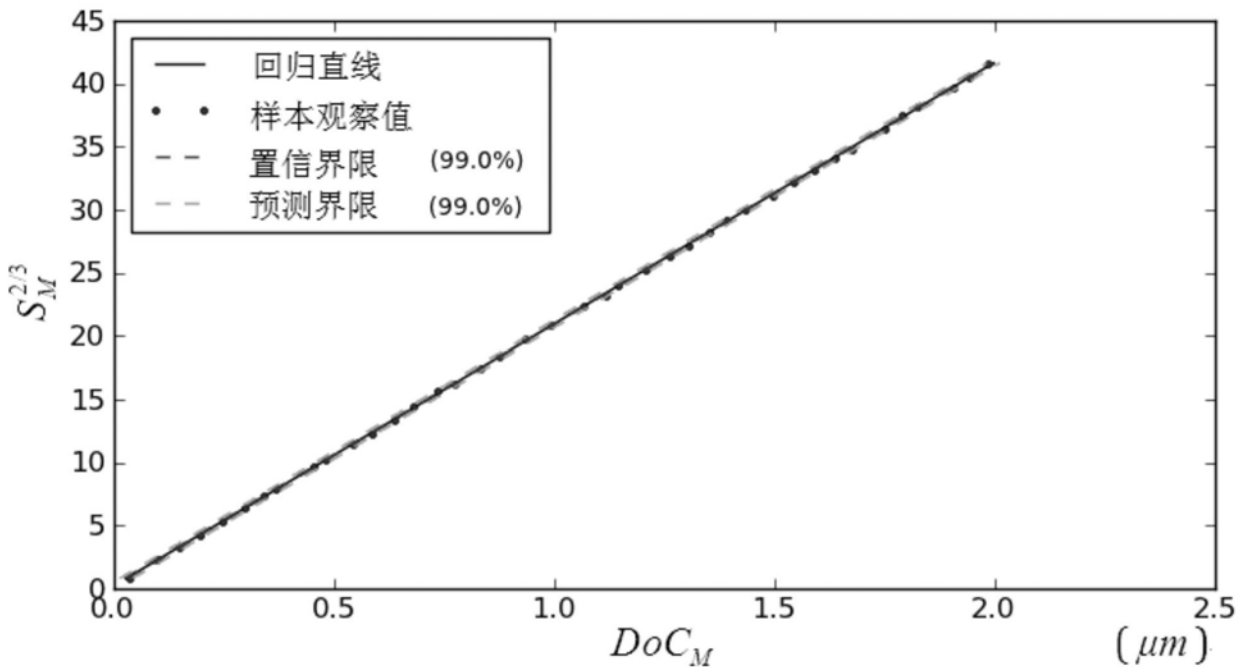


图8

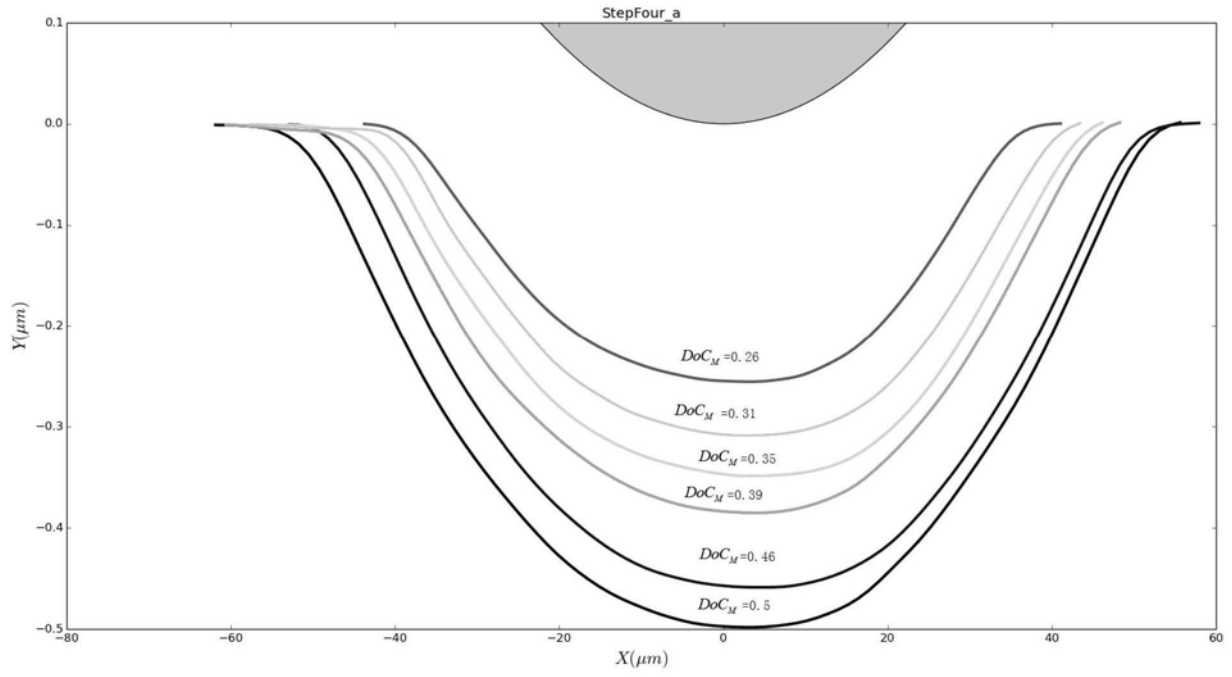


图9

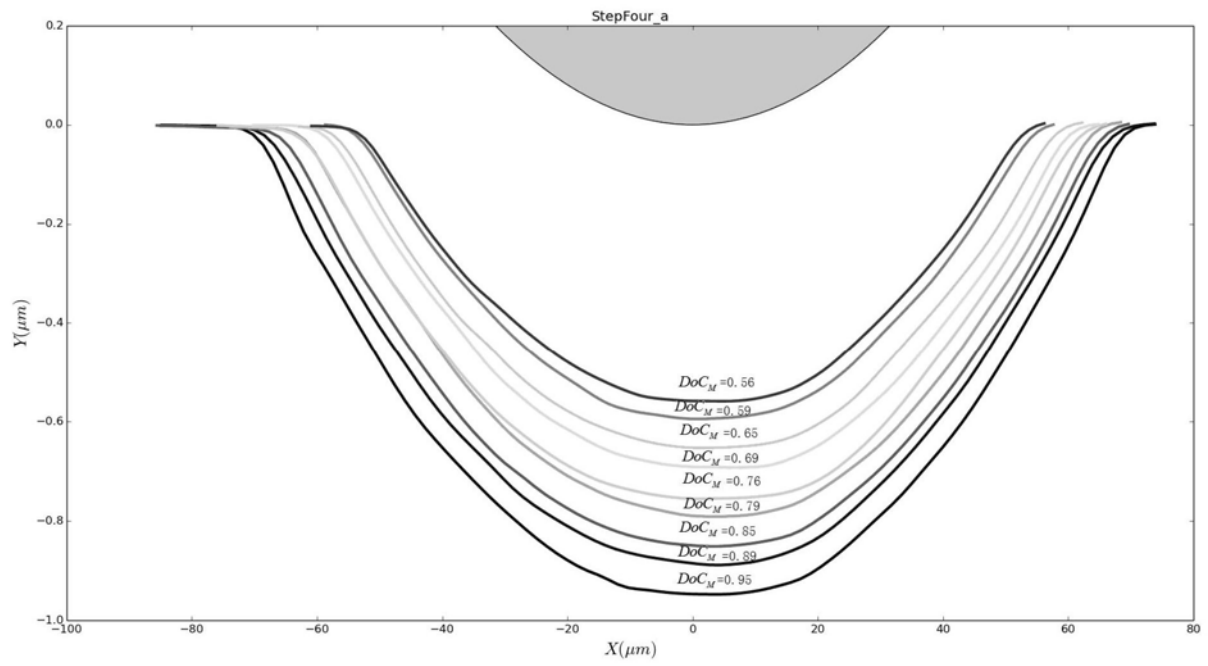


图10

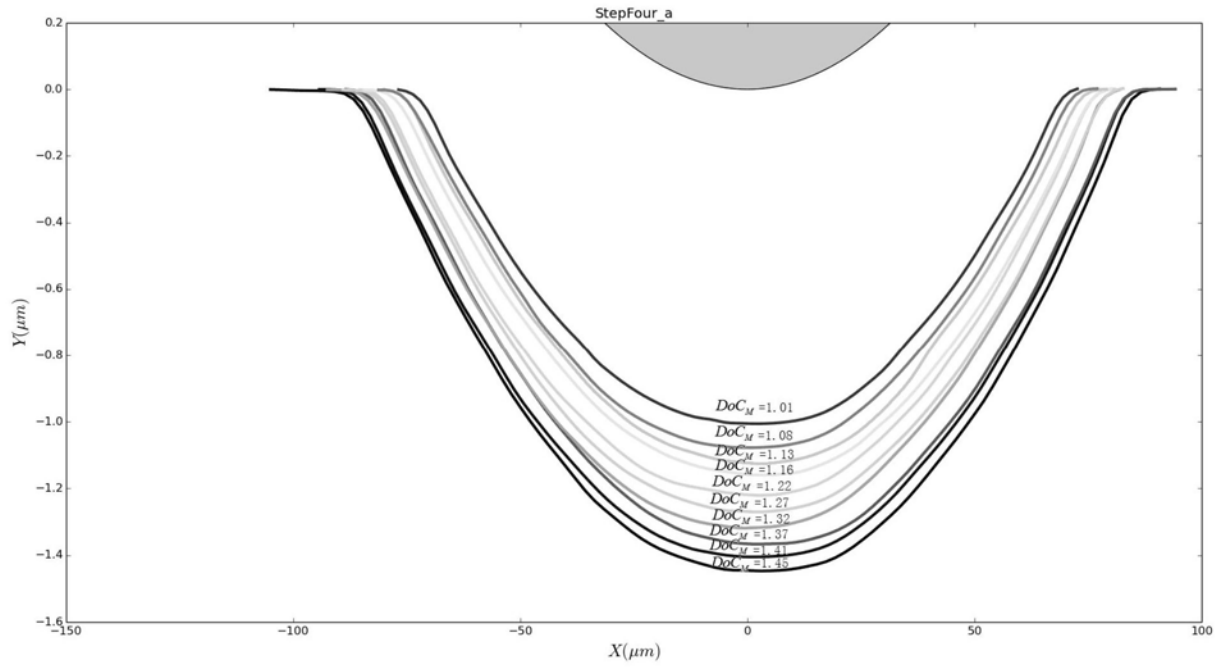


图11

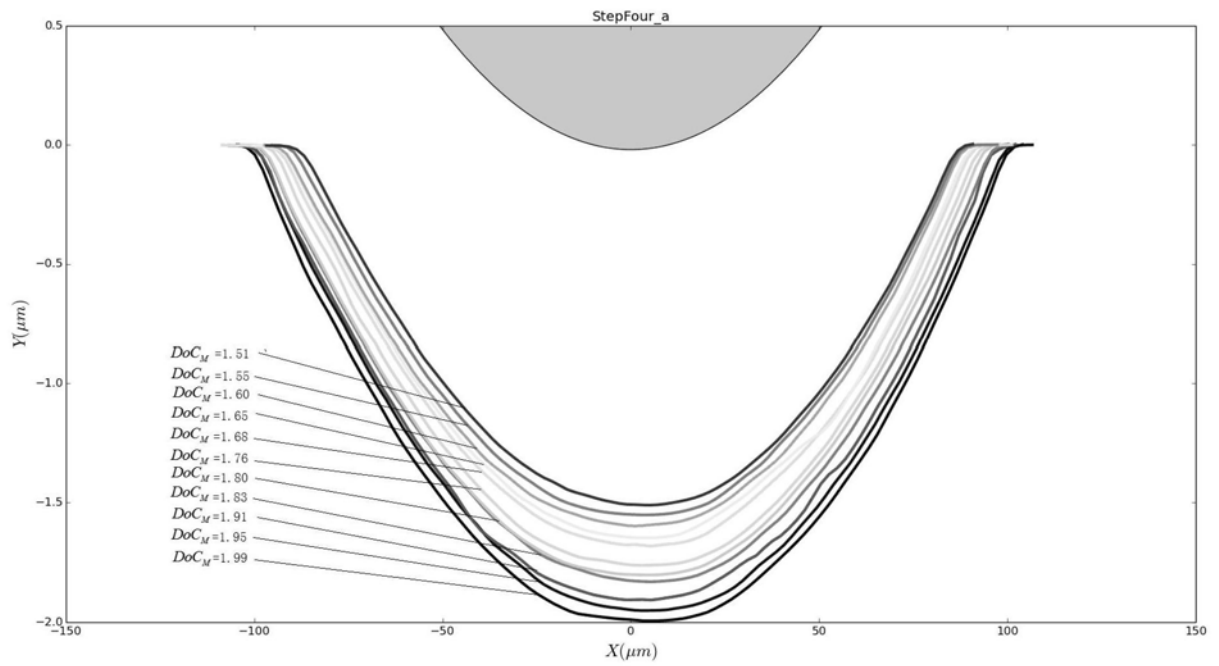


图12

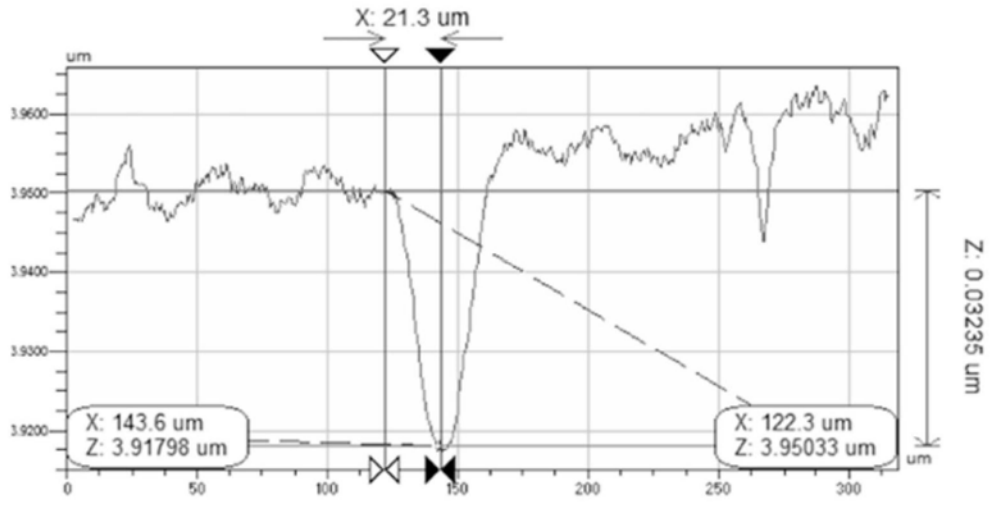


图13

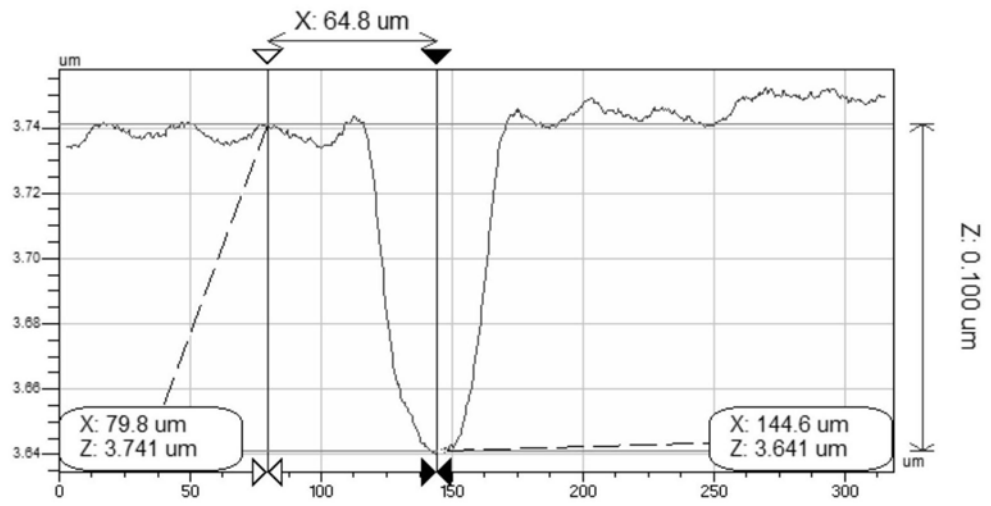


图14

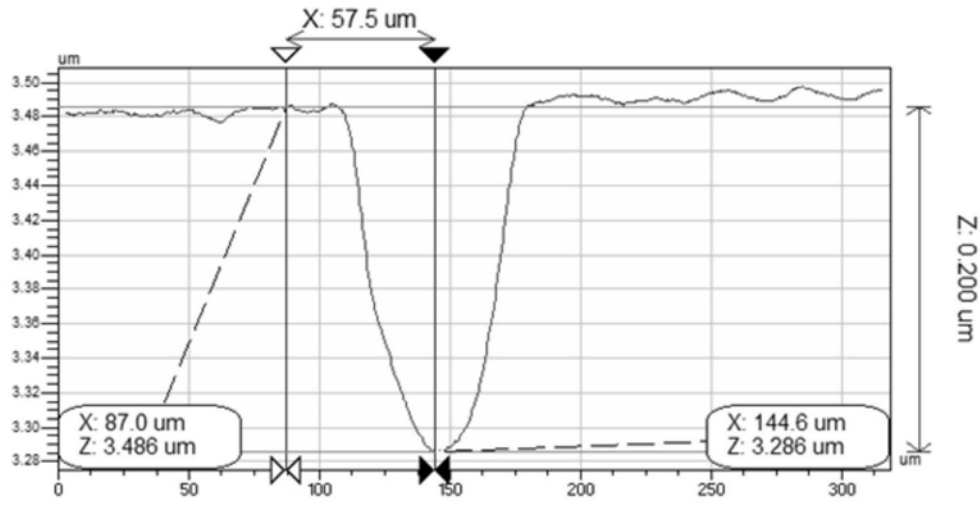


图15

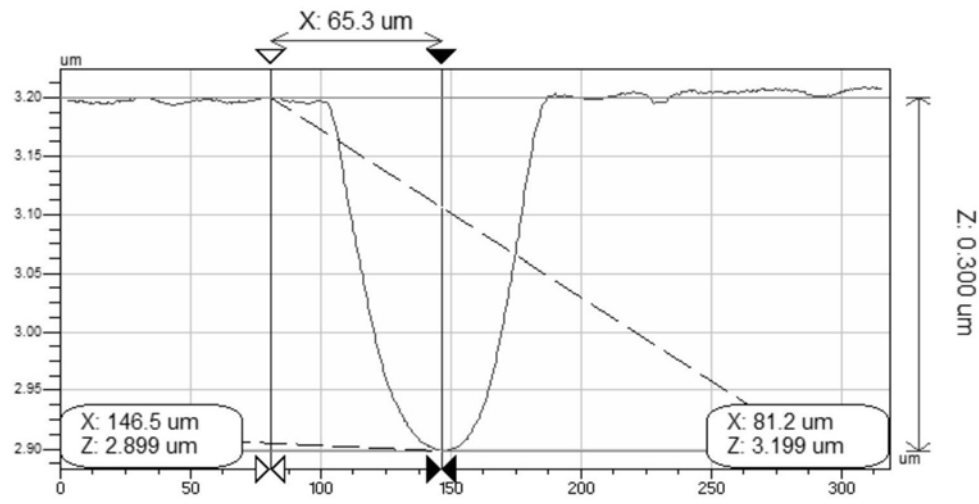


图16

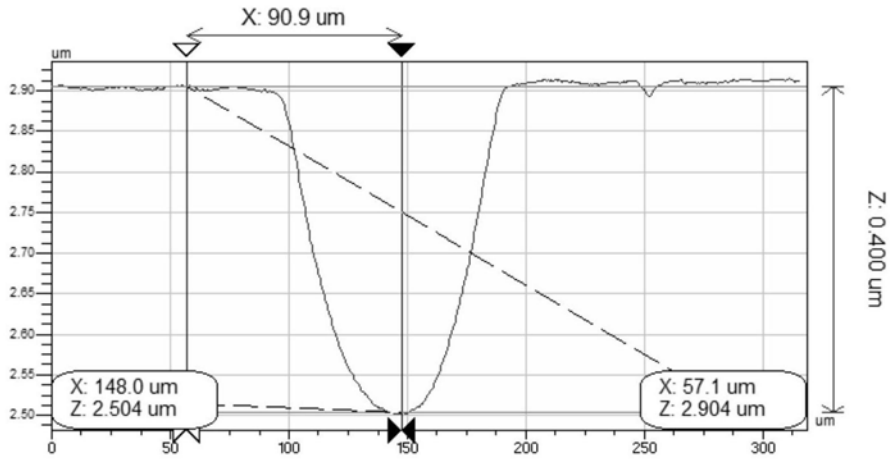


图17

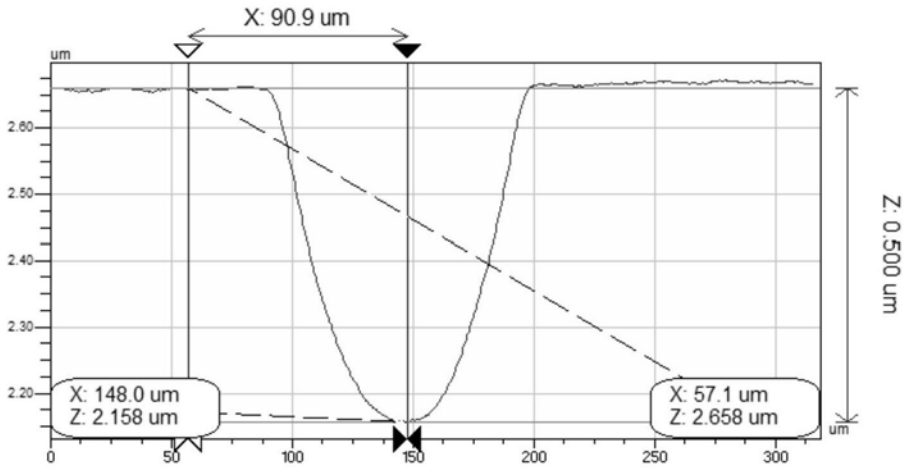


图18

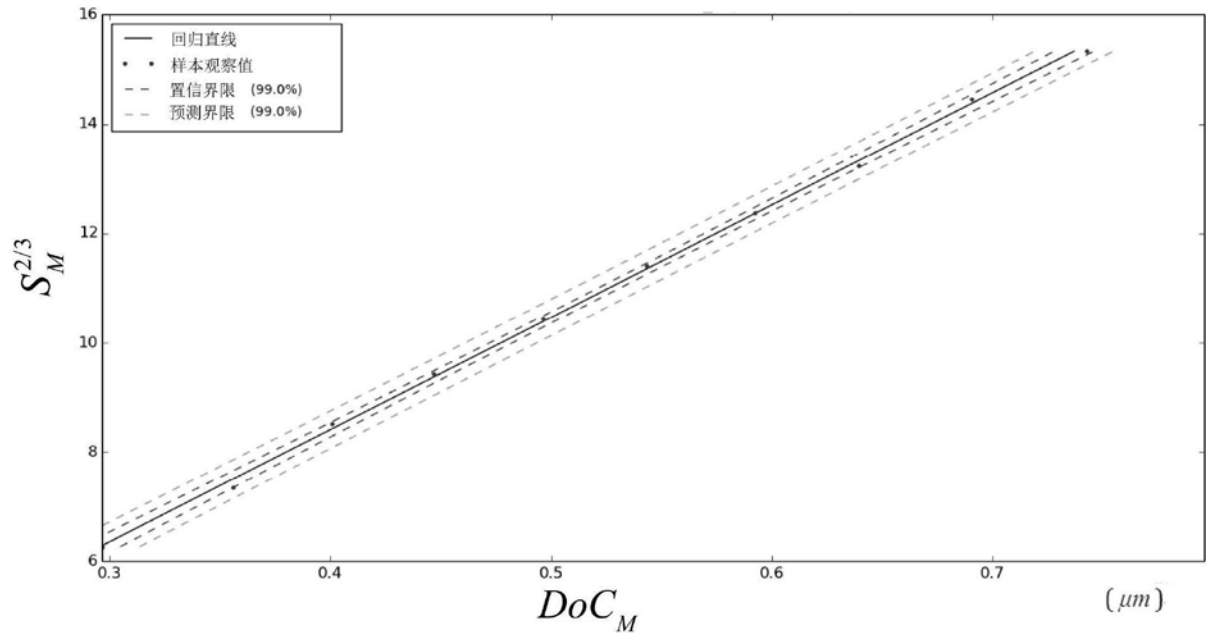


图19

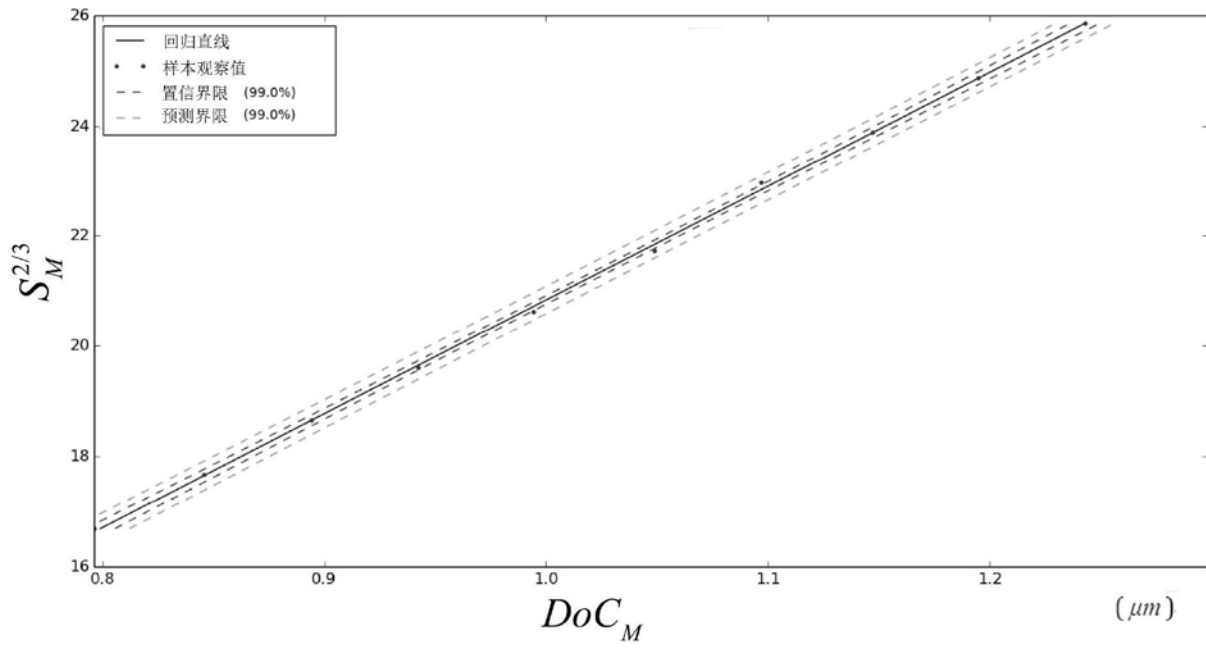


图20

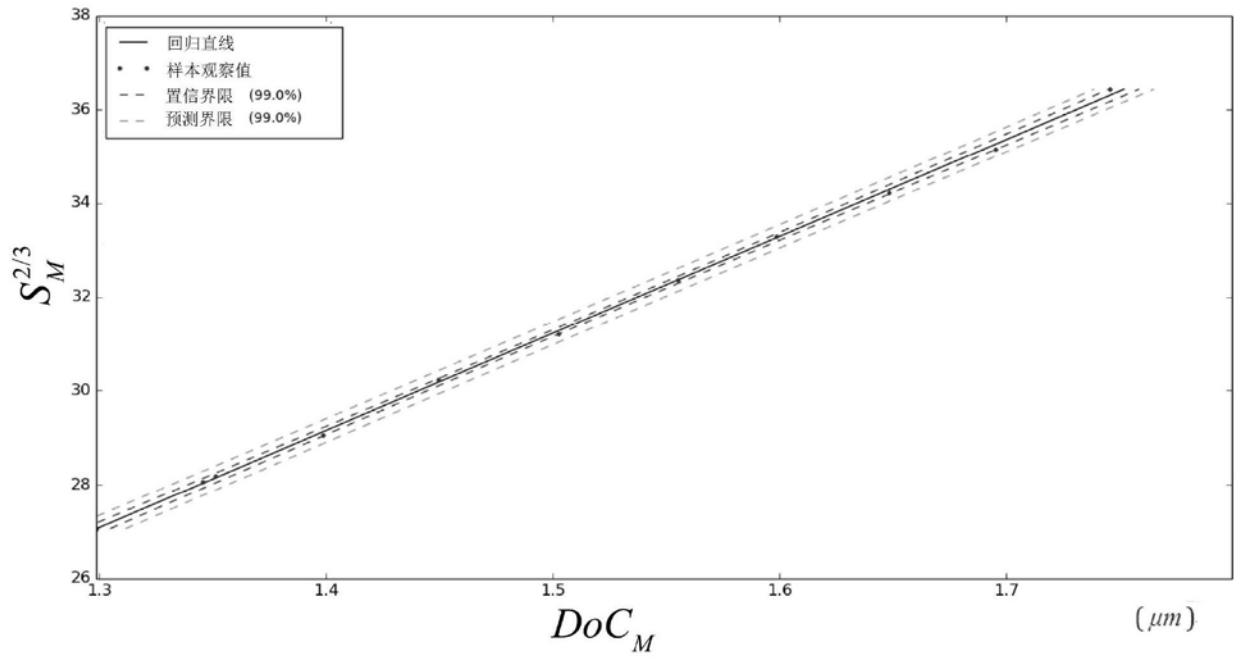


图21

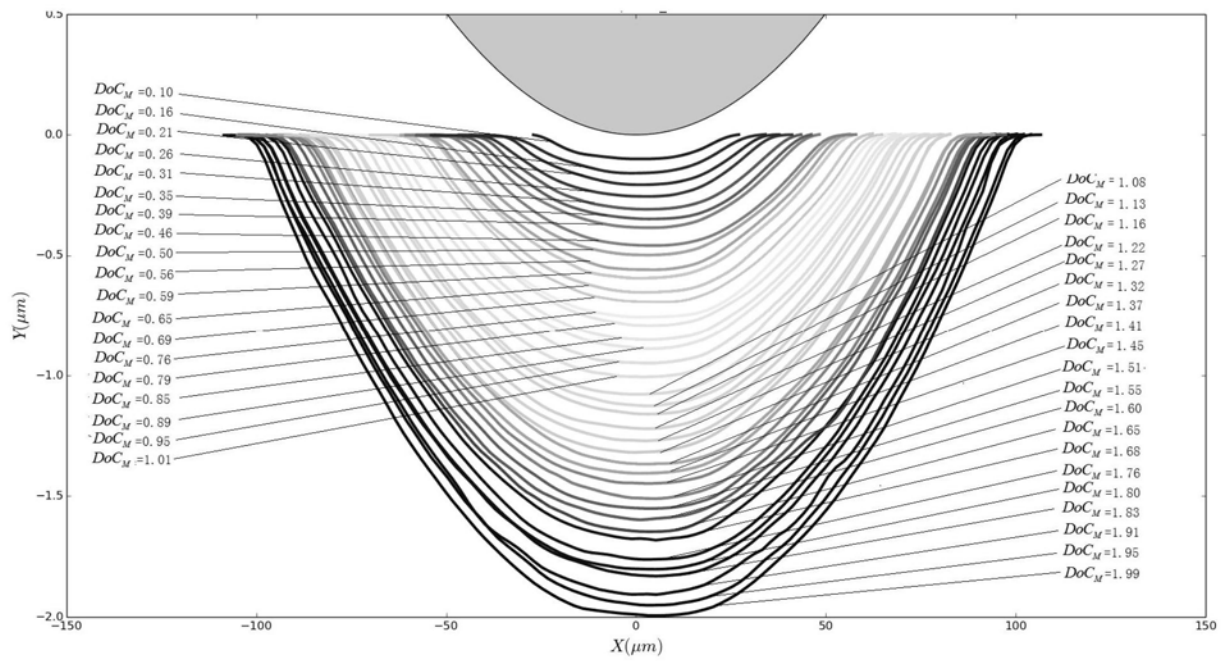


图22

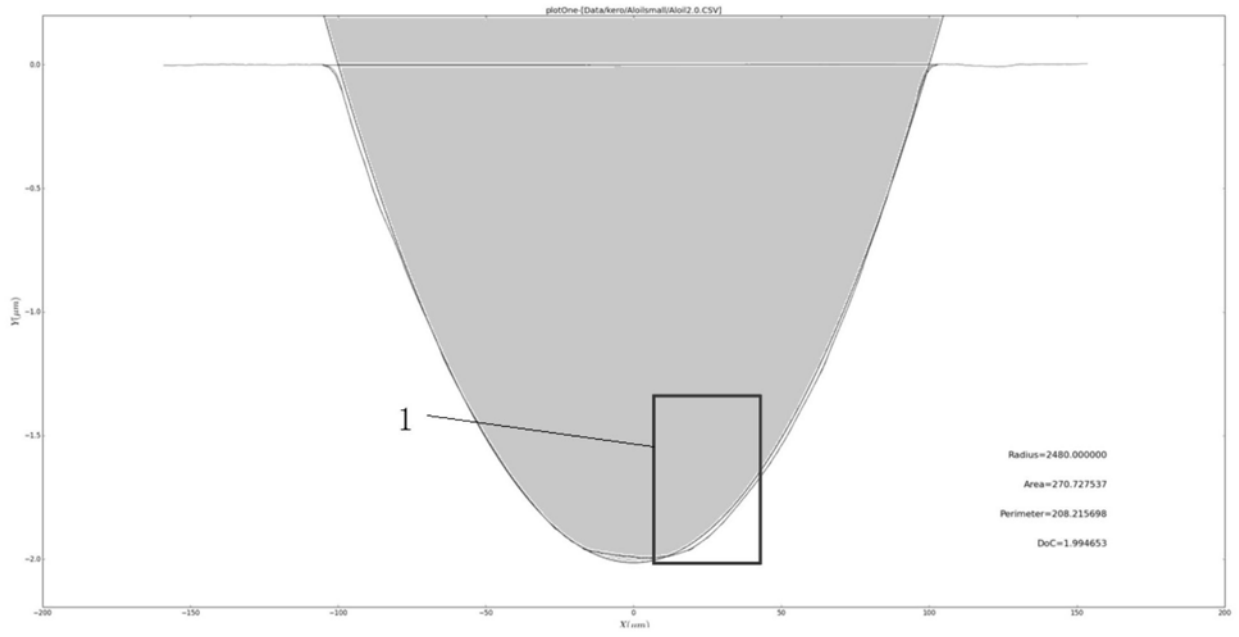


图23