



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107036560 B

(45)授权公告日 2019.04.19

(21)申请号 201610986538.3

JP S5876710 A,1983.05.09,

(22)申请日 2016.11.09

Chen jiang等.Estimation of the surface roughness of K9 optical glass in precision grinding using the brittle material removal fraction based on an improved image processing algorithm.《Insight》.2016,第58卷(第5期),

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107036560 A

(43)申请公布日 2017.08.11

(73)专利权人 上海理工大学

地址 200093 上海市杨浦区军工路516号

(72)发明人 姜晨 王鹏 任鹤 张瑞 姚磊

(74)专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司

31001

代理人 吴宝根 王晶

Jiang, Chen等.Experimental investigation of brittle material removal fraction on an optical glass surface during ultrasound-assisted grinding.《INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY》.2016,第86卷(第1-4期),

(51)Int.Cl.

G01B 11/30(2006.01)

李军等.固结磨料研磨K9玻璃表面粗糙度模型.《机械工程学报》.2015,第51卷(第21期),正文第199-205页.

(56)对比文件

- CN 103394972 A,2013.11.20,
- CN 1945205 A,2007.04.11,
- CN 205209447 U,2016.05.04,
- CN 103278113 A,2013.09.04,
- CN 105300324 A,2016.02.03,
- CN 105415101 A,2016.03.23,

丘永亮等.K9玻璃磁性研磨抛光表面粗糙度试验研究.《金刚石与磨料磨具工程》.2015,第35卷(第3期),

审查员 张文英

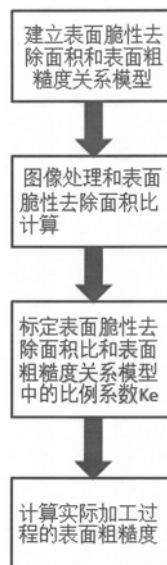
权利要求书3页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

光学玻璃精密磨削加工的表面粗糙度检测方法

(57)摘要

本发明涉及一种光学玻璃精密磨削加工的表面粗糙度检测方法,首先将数字光学相机安装在机床加工区域,拍摄磨削后工件表面照片,然后通过数字图像处理获得光学玻璃的表面脆、塑形去除面积,并通过计算光学玻璃的表面脆性去除面积比;最后根据推导出表面粗糙度和光学玻璃表面脆性去除面积比的关系,计算光学玻璃的表面粗糙度。该方法有效简化光学玻璃元件精密加工过程中的表面质量检测流程,提高了制造效率,降低加工成本,改进光学元件精密制造工艺流程。



CN 107036560 B

1. 一种光学玻璃精密磨削加工的表面粗糙度检测方法,其特征在于,步骤包括:

1) 建立表面脆性去除面积和表面粗糙度关系模型:

光学玻璃去除区域的凹坑由横向裂纹扩展至表面形成,即脆性去除,横向裂痕扩展轨迹为指数函数:

$$C_{hi} = K_e \cdot C_{li}^2 \quad (1)$$

其中:

$C_{hi}$ —凹坑深度

$C_{li}$ —压痕凹坑半径

$K_e$ —比例系数

根据表面粗糙度 $R_z$ 的定义:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 h_{peak_i} + \sum_{i=1}^5 h_{valley_i}}{5} \quad (2)$$

其中 $h_{peak_i}$ 为表面采样轮廓区域内邻近的5个峰值, $h_{valley_i}$ 为表面采样轮廓区域内邻近的5个谷值,每一个凹坑深度等同于相邻峰值和谷值的和,将公式(2)变形并将(1)带入公式(2),则:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 (h_{peak_i} + h_{valley_i})}{5} \approx \frac{\sum_{i=1}^5 C_{hi}}{5} = \frac{K_e \cdot \sum_{i=1}^5 C_{li}^2}{5} \quad (3)$$

采样区域的表面脆性去除面积 $S_B$ 为5个邻近凹坑的面积,可表示为:

$$S_B = \pi \cdot \sum_{i=1}^5 C_{li}^2 \quad (4)$$

将公式(4)代入公式(3),得到关于表面粗糙度 $R_z$ 和材料脆性去除面积 $S_B$ 的关系:

$$R_z = \frac{K_e}{5\pi} \cdot S_B \quad (5)$$

2) 图像处理及表面脆性去除面积比 $r_B$ 计算

第一步、获取工件表面形貌:

用数字光学相机随机采样工件表面五个位置,获得工件表面数字照片;

第二步、图像处理:

(1) 图像灰度化:将由数字光学相机获得的表面数字彩色图像P用以下公式转换成灰度图像:

$$P_1 = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (6)$$

其中: $P_1$ 为灰度图像, $R$ 、 $G$ 、 $B$ 为数字彩色图像的红、绿、蓝颜色分量;

(2) 图像灰度增强:采用直方均衡化对灰色图像 $P_1$ 进行处理,得到灰度增强的图像 $P_2$ :

$P_2(x, y)$  的灰度范围为  $[a, b]$ , 采用公式 (7) 将图像  $P_2(x, y)$  的灰度范围拓展至  $[c, d]$ ,  $M$  为原始图像中的最大灰度值:

$$P_2(x, y) = \left\{ \begin{array}{ll} c, & 0 \leq P_2(x, y) \leq a \\ \frac{d-c}{b-a} P_2(x, y) + c & a < P_2(x, y) \leq b \\ d, & c < P_2(x, y) \leq M \end{array} \right\} \quad (7)$$

(3) 图像二值化: 设定二值化阈值为  $(d-c)/2$ , 将  $P_2$  中大于阈值取 1, 小于阈值取 0, 从而获得只有两级灰度的黑白图像  $P_3$ ;

(4) 图像膨胀和腐蚀:

① 图像膨胀: 采用公式 (8), 用  $5 \times 5$  的结构原色矩阵  $A$  遍历图像  $P_3$  的每一个像素值, 得到膨胀后的图像  $P_4$ :

$$P_4 = A \oplus P_3 = \{ (x, y) \mid P_3(x, y) \cap A = \emptyset \} \quad (8)$$

$$\text{其中: } A = \begin{pmatrix} 00100 \\ 01110 \\ 11111 \\ 01110 \\ 00100 \end{pmatrix}, \emptyset \text{ 为空集}$$

② 图像腐蚀: 采用公式 (9), 用  $5 \times 5$  的结构原色矩阵  $A$  遍历图像  $P_4$  的每一个像素值, 得到腐蚀后的图像  $P_5$ :

$$P_5 = A \ominus P_4 = \{ (x, y) \mid P_4(x, y) \in A \} \quad (9)$$

(5) 标记:

在二进制图像  $P_5$  中, 将每一个表面塑性去除区域中的面积值为 1 的面积进行标记并相加, 获得图像总面积内表面塑性去除面积为  $S_D$ , 然后计算出表面脆性去除面积为  $S_w - S_D$ , 进而计算出表面脆性去除面积比  $r_B$ :

$$r_B = \frac{S_w - S_D}{S_w} \quad (10)$$

其中:  $S_w$ —图像总面积;

3) 标定比例系数

由上述步骤计算出五张图像的  $r_B$ , 取算术平均值, 由便携式表面粗糙度测试仪测出五张图像的表面粗糙度  $R_z$ , 取算术平均值, 将公式 (10) 代入公式 (5), 得到公式:

$$R_z = \frac{K_e S_w}{5\pi} \cdot r_B \quad (11)$$

将所得的  $r_B$  和  $R_z$  的算术平均值代入公式 (11), 得到  $K_e$  的值;

4) 计算实际加工过程的表面粗糙度

用数字光学相机拍摄加工过程中的工件表面,利用步骤2)和步骤3)所得的表面脆性去除面积比 $r_B$ 、数字照片的取样总面积 $S_w$ 和比例系数 $K_e$ ,由公式(11)计算得到工件表面粗糙度 $R_z$ 。

## 光学玻璃精密磨削加工的表面粗糙度检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种表面粗糙度检测方法,尤其涉及一种光学玻璃精密磨削加工的表面粗糙度检测方法。

### 背景技术

[0002] 光学玻璃是光电技术产业的基础和重要组成部分。特别是在20世纪90年代以后,随着光学与电子信息科学、新材料科学的不断融合,作为光电子基础材料的光学玻璃在光传输、光储存和光电显示三大领域的应用更是突飞猛进,成为社会信息化尤其是光电信息技术发展的基础条件之一。由于光学玻璃的广泛应用,传统的制造技术越来越难以满足高效、高精度的制造需要。目前的光学玻璃元件存在表面质量检测效率低下的技术问题,制约了制造效率的持续提高,难以符合现代高科技装配技术发展的要求。针对该技术瓶颈,本发明设计了一种高效、经济的光学玻璃精密磨削加工过程的表面粗糙度检测方法。

### 发明内容

[0003] 本发明是针对光学玻璃磨削加工时表面粗糙度难以高效经济测量这一技术问题,提出一种基于光学玻璃表面脆性去除面积比评估的表面粗糙度计算方法,该方法通过数字光学相机拍摄工件表面照片,计算光学玻璃的表面脆性去除面积比,来获得制造过程中的工件的表面粗糙度。

[0004] 本发明采用的技术方案为:一种光学玻璃精密磨削加工的表面粗糙度检测方法,步骤包括:

[0005] 1) 建立表面脆性去除面积和表面粗糙度关系模型:

[0006] 光学玻璃去除区域的凹坑由横向裂纹扩展至表面形成,即脆性去除,横向裂痕扩展轨迹为指数函数:

$$[0007] \quad C_{hi} = K_e \cdot C_{li}^2 \quad (1)$$

[0008] 其中:

[0009]  $C_{hi}$ —凹坑深度

[0010]  $C_{li}$ —压痕凹坑半径

[0011]  $K_e$ —比例系数

[0012] 根据表面粗糙度 $R_z$ 的定义:

$$[0013] \quad R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 h_{peak_i} + \sum_{i=1}^5 h_{valley_i}}{5} \quad (2)$$

[0014] 其中 $h_{peak_i}$ 为表面采样轮廓区域内邻近的5个峰值, $h_{valley_i}$ 为表面采样轮廓区域内邻近的5个谷值,每一个凹坑深度等同于相邻峰值和谷值的和,将公式(2)变形并将(1)带入公式(2),则:

[0015]

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 (h_{\text{peak}i} + h_{\text{valley}i})}{5} \approx \frac{\sum_{i=1}^5 C_{hi}}{5} = \frac{K_e \cdot \sum_{i=1}^5 C_{li}^2}{5} \quad (3)$$

[0016] 采样区域的表面脆性去除面积 $S_B$ 为5个邻近凹坑的面积,可表示为:

$$S_B = \pi \cdot \sum_{i=1}^5 C_{li}^2 \quad (4)$$

[0018] 将公式(4)代入公式(3),得到关于表面粗糙度 $R_z$ 和材料脆性去除面积 $S_B$ 的关系:

$$R_z = \frac{K_e}{5\pi} \cdot S_B \quad (5)$$

[0020] 2) 图像处理及表面脆性去除面积比 $r_B$ 计算

[0021] 第一步、获取工件表面形貌:

[0022] 用数字光学相机随机采样工件表面五个位置,获得工件表面数字照片;

[0023] 第二步、图像处理:

[0024] (1) 图像灰度化:将由数字光学相机获得的表面数字彩色图像 $P$ 用以下公式转换成灰度图像:

$$P_1 = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (6)$$

[0026] 其中: $P_1$ 为灰度图像, $R$ 、 $G$ 、 $B$ 为数字彩色图像的红、绿、蓝颜色分量;[0027] (2) 图像灰度增强:采用直方均衡化对灰色图像 $P_1$ 进行处理,得到灰度增强的图像 $P_2$ :[0028]  $P_2(x, y)$ 的灰度范围为 $[a, b]$ ,采用公式(7)将图像 $P_2(x, y)$ 的灰度范围拓展至 $[c, d]$ , $M$ 为原始图像中的最大灰度值:

[0029]

$$P_2(x, y) = \left\{ \begin{array}{ll} c, & 0 \leq P_2(x, y) \leq a \\ \frac{d-c}{b-a} P_2(x, y) + c & a < P_2(x, y) \leq b \\ d, & c < P_2(x, y) \leq M \end{array} \right\} \quad (7)$$

[0030] (3) 图像二值化:设定二值化阈值为 $(d-c)/2$ ,将 $P_2$ 中大于阈值取1,小于阈值取0,从而获得只有两级灰度的黑白图像 $P_3$ ;

[0031] (4) 图像膨胀和腐蚀:

[0032] ① 图像膨胀:采用公式(8),用 $5 \times 5$ 的结构原色矩阵 $A$ 遍历图像 $P_3$ 的每一个像素值,得到膨胀后的图像 $P_4$ :

$$P_4 = A \oplus P_3 = \{(x, y) \mid P_3(x, y) \cap A = \emptyset\} \quad (8)$$

[0034] 其中： $A = \begin{pmatrix} 00100 \\ 01110 \\ 11111 \\ 01110 \\ 00100 \end{pmatrix}$ ， $\Phi$  为空集

[0035] ②图像腐蚀：采用公式(9)，用5 x 5的结构原色矩阵A遍历图像P<sub>4</sub>的每一个像素值，得到腐蚀后的图像P<sub>5</sub>：

$$[0036] \quad P_5 = A \ominus P_4 = \{ (x, y) \mid P_4(x, y) \in A \} \quad (9)$$

[0037] (5) 标记：

[0038] 在二进制图像P<sub>5</sub>中，将每一个表面塑性去除区域中的面积值为1的面积进行标记并相加，获得图像总面积内表面塑性去除面积为S<sub>D</sub>，然后计算出表面脆性去除面积为S<sub>w</sub>-S<sub>D</sub>，进而计算出表面脆性去除面积比r<sub>B</sub>：

$$[0039] \quad r_B = \frac{S_w - S_D}{S_w} \quad (10)$$

[0040] 其中：S<sub>w</sub>—图像总面积；

[0041] 3) 标定比例系数

[0042] 由上述步骤计算出五张图像的r<sub>B</sub>，取算术平均值，由便携式表面粗糙度测试仪测出五张图像的表面粗糙度R<sub>z</sub>，取算术平均值，将公式(10)代入公式(5)，得到公式：

$$[0043] \quad R_z = \frac{K_e S_w}{5\pi} \cdot r_B \quad (11)$$

[0044] 将所得的r<sub>B</sub>和R<sub>z</sub>的算术平均值代入公式(11)，得到K<sub>e</sub>的值；

[0045] 4) 计算实际加工过程的表面粗糙度

[0046] 用数字光学相机拍摄加工过程中的工件表面，利用步骤2)和步骤3)所得的表面脆性去除面积比r<sub>B</sub>、数字照片的取样总面积S<sub>w</sub>和比例系数K<sub>e</sub>，由公式(11)计算得到工件表面粗糙度R<sub>z</sub>。

[0047] 本发明的有益效果是：该方法有效简化光学玻璃元件精密制造过程的工件表面质量检测流程，提高制造效率，降低加工成本，改进光学元件精密制造工艺流程。

## 附图说明

[0048] 图1为本发明的光学玻璃精密磨削加工的表面粗糙度检测方法的流程图。

## 具体实施方式

[0049] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0050] 如图1所示，一种光学玻璃精密磨削加工的表面粗糙度检测方法，步骤包括：

[0051] 1) 建立表面脆性去除面积和表面粗糙度关系模型：

[0052] 光学玻璃去除区域的凹坑由横向裂纹扩展至表面形成，即脆性去除，横向裂痕扩

展轨迹为指数函数:

$$[0053] \quad C_{hi} = K_e \cdot C_{li}^2 \quad (1)$$

[0054] 其中:

[0055]  $C_{hi}$ —凹坑深度

[0056]  $C_{li}$ —压痕凹坑半径

[0057]  $K_e$ —比例系数

[0058] 根据表面粗糙度 $R_z$ 的定义:

$$[0059] \quad R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 h_{peak_i} + \sum_{i=1}^5 h_{valley_i}}{5} \quad (2)$$

[0060] 其中 $h_{peak_i}$ 为表面采样轮廓区域内邻近的5个峰值, $h_{valley_i}$ 为表面采样轮廓区域内邻近的5个谷值,每一个凹坑深度等同于相邻峰值和谷值的和,将公式(2)变形并将(1)带入公式(2),则:

$$[0061] \quad R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 (h_{peak_i} + h_{valley_i})}{5} \approx \frac{\sum_{i=1}^5 C_{hi}}{5} = \frac{K_e \cdot \sum_{i=1}^5 C_{li}^2}{5} \quad (3)$$

[0062] 采样区域的表面脆性去除面积 $S_B$ 为5个邻近凹坑的面积,可表示为:

$$[0063] \quad S_B = \pi \cdot \sum_{i=1}^5 C_{li}^2 \quad (4)$$

[0064] 将公式(4)代入公式(3),得到关于表面粗糙度 $R_z$ 和材料脆性去除面积 $S_B$ 的关系:

$$[0065] \quad R_z = \frac{K_e}{5\pi} \cdot S_B \quad (5)$$

[0066] 2) 图像处理及表面脆性去除面积比 $r_B$ 计算

[0067] 第一步、获取工件表面形貌:

[0068] 用数字光学相机随机采样工件表面五个位置,获得工件表面数字照片;

[0069] 第二步、图像处理:

[0070] (1) 图像灰度化:将由数字光学相机获得的表面数字彩色图像 $P$ 用以下公式转换成灰度图像:

$$[0071] \quad P_1 = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (6)$$

[0072] 其中: $P_1$ 为灰度图像, $R$ 、 $G$ 、 $B$ 为数字彩色图像的红、绿、蓝颜色分量;

[0073] (2) 图像灰度增强:采用直方均衡化对灰色图像 $P_1$ 进行处理,得到灰度增强的图像 $P_2$ :

[0074]  $P_2(x, y)$ 的灰度范围为 $[a, b]$ ,采用公式(7)将图像 $P_2(x, y)$ 的灰度范围拓展至 $[c, d]$ , $M$ 为原始图像中的最大灰度值:



[0075]

$$P_2(x, y) = \left\{ \begin{array}{ll} c, & 0 \leq P_2(x, y) \leq a \\ \frac{d-c}{b-a} P_2(x, y) + c & a < P_2(x, y) \leq b \\ d, & c < P_2(x, y) \leq M \end{array} \right\} \quad (7)$$

[0076] (3) 图像二值化: 设定二值化阈值为  $(d-c)/2$ , 将  $P_2$  中大于阈值取 1, 小于阈值取 0, 从而获得只有两级灰度的黑白图像  $P_3$ ;

[0077] (4) 图像膨胀和腐蚀:

[0078] ① 图像膨胀: 采用公式 (8), 用  $5 \times 5$  的结构原色矩阵  $A$  遍历图像  $P_3$  的每一个像素值, 得到膨胀后的图像  $P_4$ :

$$[0079] \quad P_4 = A \oplus P_3 = \{(x, y) \mid P_3(x, y) \cap A = \emptyset\} \quad (8)$$

$$[0080] \quad \text{其中: } A = \begin{pmatrix} 00100 \\ 01110 \\ 11111 \\ 01110 \\ 00100 \end{pmatrix}, \Phi \text{ 为空集}$$

[0081] ② 图像腐蚀: 采用公式 (9), 用  $5 \times 5$  的结构原色矩阵  $A$  遍历图像  $P_4$  的每一个像素值, 得到腐蚀后的图像  $P_5$ :

$$[0082] \quad P_5 = A \ominus P_4 = \{(x, y) \mid P_4(x, y) \in A\} \quad (9)$$

[0083] (5) 标记:

[0084] 在二进制图像  $P_5$  中, 将每一个表面塑性去除区域 (面积值为 1) 标记并相加, 获得图像总面积内表面塑性去除面积为  $S_D$ , 然后计算出表面脆性去除面积为  $S_w - S_D$ , 进而计算出表面脆性去除面积比  $r_B$ :

$$[0085] \quad r_B = \frac{S_w - S_D}{S_w} \quad (10)$$

[0086] 其中:  $S_w$ —图像总面积;

[0087] 3) 标定比例系数

[0088] 由上述步骤计算出五张图像的  $r_B$ , 取算术平均值, 由便携式表面粗糙度测试仪测出五张图像的表面粗糙度  $R_z$ , 取算术平均值, 将公式 (10) 代入公式 (5), 得到公式:

$$[0089] \quad R_z = \frac{K_e S_w}{5\pi} \cdot r_B \quad (11)$$

[0090] 将所得的  $r_B$  和  $R_z$  的算术平均值代入公式 (11), 得到  $K_e$  的值;

[0091] 4) 计算实际加工过程的表面粗糙度

[0092] 用数字光学相机拍摄加工过程中的工件表面, 利用步骤 2) 和步骤 3) 所得的表面脆

性去除面积比 $r_B$ 、数字照片的取样总面积 $S_w$ 和比例系数 $K_e$ ,由公式(11)计算得到工件表面粗糙度 $R_z$ 。

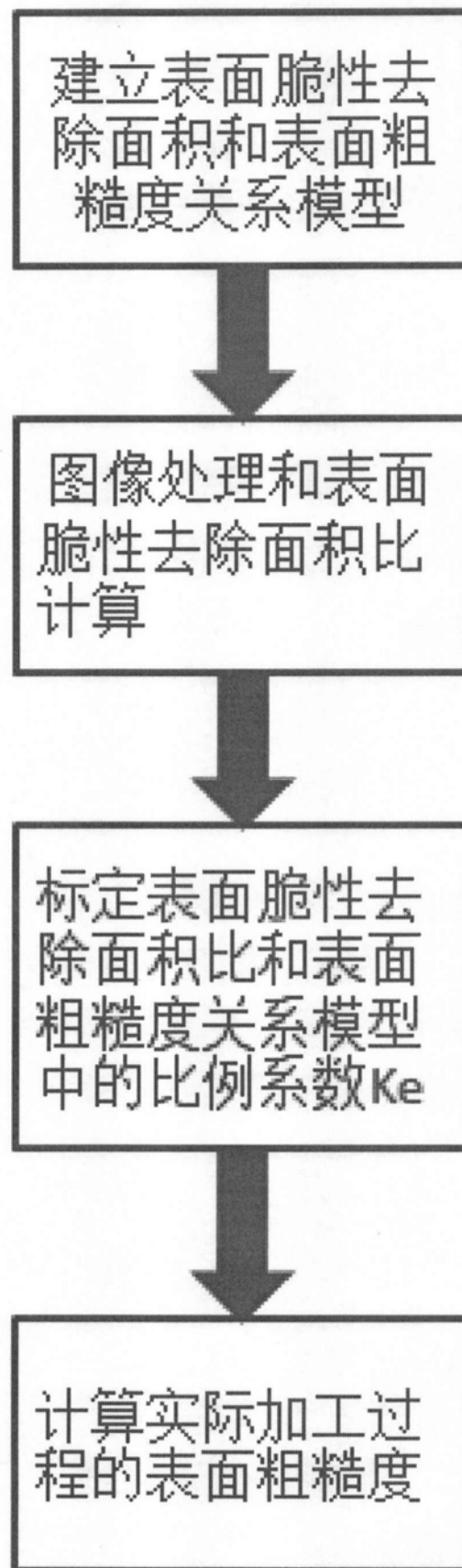


图1