

文章编号:1001-5078(2007)05-0412-03

零件表面粗糙度的激光在线测量

付凤岚, 谭海艳

(武汉理工大学机电工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要:文中主要介绍了一种零件表面粗糙度的激光在线测量方法,该测量方法具有测量速度快、仪器结构简单、不会划伤被测件且能够显示被测件表面的具体形貌等优点。在测量中,我们引入激光三角测量系统,用无衍射激光光束作光源,用高精度的 CCD 摄像机作位移传感器,通过计算机数据处理得到表面粗糙度值,使表面粗糙度在线检测成为可能。

关键词:表面粗糙度;He-Ne 激光器;CCD 摄像机;光学三角法

中图分类号:TN741.3 **文献标识码:**A

Real Time Measurement of the Part Surface Roughness Using Laser Technique

FU Feng-lan, TAN Hai-yan

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: This paper introduces a kind of real time measurement of part surface roughness using laser technique. In this measurement, triangulation measurement is adopted, by using non-diffraction laser beam as light source and high accuracy CCD pickup camera as displacement sensor. The surface roughness value is obtained by computer data processing and real time measurement of surface roughness becomes possible.

Key words: surface roughness; He-Ne laser; CCD camera; optical triangulation

1 引 言

表面粗糙度误差又称为微观几何形状误差,是机械零件的一个主要几何精度指标,它直接影响机器或仪器的使用性能和使用寿命。其形成原因主要有:加工过程中在工件表面留下的刀痕,刀具和零件表面之间的摩擦,切削分离时工件表面层的塑性变形,切削过程中的残留物等。目前在生产现场主要是靠目测或触摸对比样板的办法来估计,而计量室中常用触针法(Talysurf)、光切显微镜、干涉显微镜及电动轮廓仪,由于其结构和性能所限,难以实现现场主动测量,而且工作效率不高。本文介绍的表面粗糙度激光测量即基于激光三角测量系统,并对 JSG-T 型光切显微镜进行了微机化改造,在显微镜原照相机位置处改装了图像提取系统,用数字摄像头摄取图像,然后输入计算机进行数据处理,计算表面粗糙度参数,实现了图像提取及数据处理自动化。

该测量方法具有在线测量的优点,不会划伤被测件,且能够显示被测表面的具体形貌。在该测量方法的设计中,我们引入光学三角法,用无衍射激光光束作光源,用高精度 CCD 做位移传感器,通过计算机处理得到表面粗糙度值,使激光三角测量系统应用于表面粗糙度在线检测成为可能。

2 测量原理

系统采用 He-Ne 激光器作光源,凸透镜、针孔及透镜组成扩束准直系统,光束充满整个锥形透镜孔径,其后形成的无衍射光束即为三角测量系统的入射光束。它使被测物面的纵向测量范围始终处于光束焦深范围内,无需精密调焦系统。由于无衍射

作者简介:付凤岚(1960-),女,副教授,主要从事机械精度的检测与控制研究。E-mail:fflan66@163.com

收稿日期:2006-09-28; **修订日期:**2006-11-03

光束中心光斑很小,系统横向分辨率可以很高。同时,小的中心光斑还可保证成像位置的精度及系统的纵向分辨率。为保证无衍射焦深范围内被测物点清晰成像,光接收器上的像点必须始终位于焦平面上,即其受光面须与成像光轴成一夹角。测量过程中,将光源(入射光线)、透镜及电荷耦合传感器 CCD 固定,让被测试样沿轴线匀速转动。如图 1 所示,当入射光束以 θ 角照射到被测试样 A 点时,由于试样表面有一定的粗糙度,必将发生漫反射,这时一部分反射光线经过显微镜汇聚于 CCD 传感器的 A' 点。CCD 传感器将发出信号,记录此时光点的位置。若被测试样转动时,反射光线不变,电荷耦合传感器 CCD 的光点也不变。当样件表面有微观不平时(见图 1),入射光束照射到 B 点时,反射光线通过透镜,会聚于 CCD 上 B' 点。CCD 发出信号,记录此时光点的位置。通过计算机处理,可得到试样表面粗糙度值。

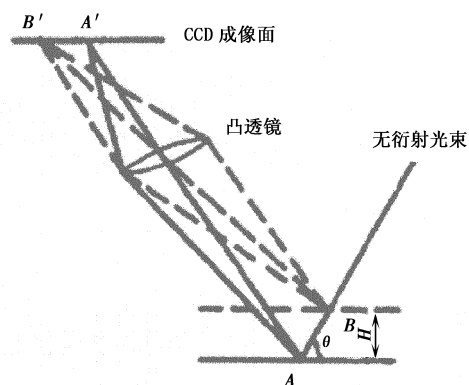


图1 激光三角法原理图

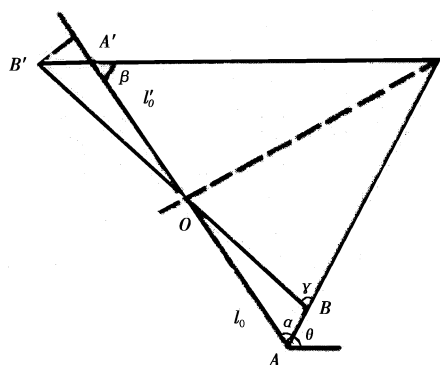


图2 激光三角法分析图

设 $AB = \Delta$, $A'B' = \delta$, v 为物镜放大倍数,从图 2 中得出:

$$\frac{\Delta \sin \alpha}{l_0 - \Delta \cos \alpha} = \frac{\frac{\delta}{v} \sin \beta}{(l_0' + \frac{\delta}{v} \cos \beta)} \quad (1)$$

整理可得:

$$\Delta = \frac{l_0 \frac{\delta}{v} \sin \beta}{l_0' \sin \alpha + \frac{\delta}{v} \sin(\alpha + \beta)} \quad (2)$$

当 Δ 很小时, $\frac{\delta}{v} \sin(\alpha + \beta) \ll l_0' \sin \alpha$, 所以有:

$$\Delta = \frac{l_0 \frac{\delta}{v} \sin \beta}{l_0' \sin \alpha}$$

由于入射光束(即物平面)与水平面夹角为 θ , 设微观不平深度为 H , 则:

$$H = \Delta \sin \theta = \frac{\frac{\delta}{v} l_0 \sin \beta \sin \theta}{l_0' \sin \alpha} \quad (3)$$

当 $\alpha, \beta, \theta, l_0$ 及 l_0', v 均为定值时,式(3)可表示为 $\Delta = K\delta$, K 为定值,所以 H 与 δ 近似线性关系, d 可由 CCD 摄像机测出,微观不平深度 H 亦可求出。

3 测量系统

测量系统如图 3 所示,在观察方向采用 CCD 摄像头,波长为 632.8nm 的激光从被测表面反射出来,经过显微镜在 CCD 摄像头上成像,再输入图像采集卡与计算机连接,可进行图像处理,监视器可显示表面动态状况。为选择采集点提供方便,测量过程中,只需调节初始光强便可进行粗糙度值 R_a 的测量,不需要改变波长、入射角、焦距,保证被测试样绕轴心匀速转动,通过对瞬态图像进行图像采集,由计算机处理即可以得到 R_a 。因此,该方法可用于表面粗糙度的实时测量。其中,激光经显微镜后在 CCD 传感器上成像,然后用图像处理软件对图像文件进行必要的处理,如锐化、增强、边缘检测和提取等,就可以得出表面粗糙度的轮廓形状,算出零件表面的微观不平深度经过显微镜后在 CCD 摄像机上的成像点,得到相应的表面粗糙度曲线,从数据处理到表面粗糙度曲线是由计算机来完成的。

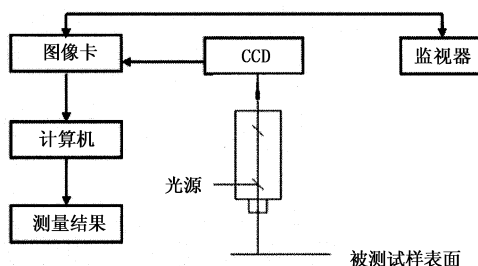


图3 测量系统

4 测试精度的比较

在该系统中,我们选择 JSG-T 光切显微镜,该显微镜具有不同放大倍率的镜头,对于不同的放大

镜头,我们对系统进行了必要的标定。图4是用标准量块形成的0.1mm的台阶在14倍光切显微镜下得到的图像,经图像处理和边界提取获得的,图中上下两条线间的垂直像素点差为146个点,因此在14倍镜头下,一个像素点对应的距离为:

$$d = \frac{1}{1460} \text{mm} = 0.685 \mu\text{m}$$

当粗糙峰与谷之间的像素数为 N 时,则峰与谷之间的距离 $h = N \times d (\mu\text{m})$ 。对于其他的镜头,如30倍和60倍的,只要乘上倍数的相对变化率就行。

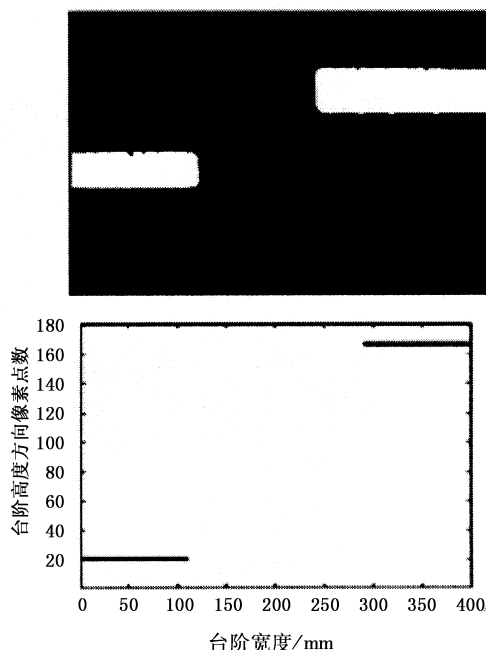


图4 0.1mm台阶在光切显微镜下的图像

图5为车削加工表面在20倍体视显微镜下观察到的放大表面图像,我们可以看到均匀的车削条纹。图6是用触针法测到的表面轮廓图。图7(a)是用本系统得到的图像,图7(b)为经本系统图像处理得到的轮廓图。对比图6和图7(b),我们可以看到两种方法获得的表面形貌轮廓图,无论在形状和幅值上都非常相似,表1中对应的两种方法获得的粗糙度统计值也相近。

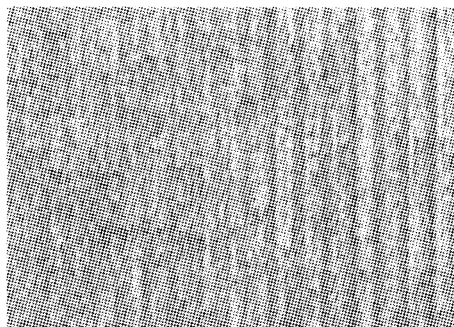


图5 车削加工表面

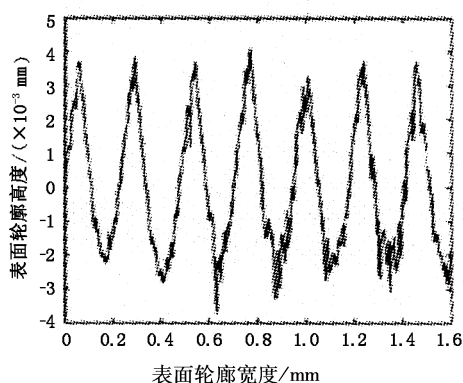


图6 触针法测得的表面轮廓图

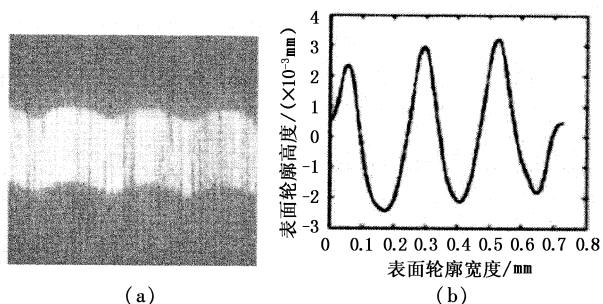


图7 用本系统测得的车削表面的形貌

表1 两种测量方法获得的粗糙度比较 μm

触针法	$Ra = 1.354$
激光在线测量法	$Ra = 1.4$

4 结论

本文介绍的测量系统,因为是在线测量,被测件表面的一些油膜和杂质会对测量有一定影响,在被测件表面进入测量区之前,我们使用海绵将油膜和杂质抹去。该测量系统中,我们采用无衍射激光作为光源,其中心光斑小,分辨率为 $1 \mu\text{m}$,电荷耦合传感器CCD作为一种位移传感器件,有较宽的光谱响应范围,能实时连续测量,且能够很直观地反映表面粗糙度轮廓等优点,应用计算机处理结果,更快更精确得到表面粗糙度值。随着现代制造业的迅速发展,表面粗糙度的研究已经成为近年来的热点。激光测量法因其测量速度快、测量精度高,直观地反映表面粗糙度轮廓及在线测量的特点,有很好的发展前景。

参考文献:

- [1] 李柱,徐振高,蒋向前. 互换性与测量技术[M]. 北京: 高等教育出版社,2004:217.
- [2] 周莉萍,赵斌,李柱. 无衍射光束在激光三角测量系统中的应用及研究[J]. 激光技术,1998,22(1):22-25.
- [3] 陈辽军,梁萍. 光切显微镜图像提取系统的数字化改造[J]. 工具技术,2003,37(9):48-50.
- [4] 胡曙光. 基于激光三角法的传感器设计[J]. 测控技术,2006,25(6):7-8.