

文章编号:1001-5078(2007)11-1230-04

布氏硬度的图像测量法

白福忠^{1,3}, 高晓娟², 包晓艳¹

(1. 内蒙古工业大学机械学院, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古机电职业技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010051;
3. 中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209)

摘 要:文中提出一种采用基于计算机视觉的图像测量技术进行布氏硬度测量的方法,它通过对试件压痕进行图像采集、特征提取、信息处理等过程来实现布氏硬度的测量。实验结果表明,布氏硬度的图像测量法是一种自动化程度高、人为误差小的测量方法,同时还具有测量精度高、可靠性好、抗噪声能力强的特点。

关键词:布氏硬度;图像测量;压痕图像;特征提取;直径测量

中图分类号:TG113.25 **文献标识码:**A

Image Measuring Method of Brinell Hardness

BAI Fu-zhong^{1,3}, GAO Xiao-juan², BAO Xiao-yan¹

(1. School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Huhhot 010051, China; 2. Inner Mongolia Machine Electricity Occupation Technical College, Huhhot 010051, China; 3. Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Science, Chengdu 610209, China)

Abstract: A new measuring method of Brinell hardness that based on computer vision is presented in this paper. Aiming at the electrical testing measures such as digital computer and CCD industrial camera, it can accomplish Brinell hardness measurement through image acquisition of indentation on the specimen, feature extraction and information processing. The experimental results indicate that the image measuring method of Brinell hardness is the one that embraces high level of automatization and low human error. Furthermore, it does still possess great advantages in measuring precision, reliability and anti-noise ability.

Key words: Brinell hardness; image measurement; indentation image; feature extraction; diameter measurement

1 引 言

材料的硬度表示材料抵抗硬物体压入其表面的能力,它是材料力学性能的一个重要性能指标之一,对于检验产品质量和确定合理的加工工艺是相当重要的。布氏硬度测量是所有硬度测量方法中压痕最大的一种试验法,它能反映出材料的综合性能,不受试样组织显微偏析及成分不均匀的影响,因而它是一种精度较高的硬度测量法,在冶金、锻造、铸造、未经淬火钢及有色金属等工业领域、实验室、计量部门和科研单位内广泛使用。

目前,布氏硬度一般采用布氏硬度计进行测量,测量人员通过使用读数显微镜测量压痕直径,从而可获得布氏硬度值。在对这种传统布氏硬度测量方

法进行误差分析时发现,压痕直径的测量误差是影响硬度测量精度的主要因素。同时检定规程 JJG147-91 对压痕直径测量误差的要求为:对于直径 10mm 和 5mm 球压头压出的压痕,允许误差为 $\pm 0.002\text{mm}$;对直径 2.5mm, 2mm, 1mm 球压头压出的压痕,允许误差为 $\pm 0.001\text{mm}$ ^[1]。由此可见,测量中对压痕直径的测量精度要求很高。此外,在使用读数显微镜测量压痕直径时要严格遵守操作规程,需测得多组相互垂直方向上的压痕直径,测量值取

基金项目:内蒙古工业大学科研基金项目(No. X200609)资助。

作者简介:白福忠(1979-),男,讲师,工学硕士,主要从事精密测量及视觉检测等研究工作。E-mail: b_fzh@163.com

收稿日期:2007-05-30

其算术平均值。如稍有不慎,极有可能产生粗大误差,导致测量结果严重失真。因此,使用布氏硬度计测量布氏硬度时,对测量人员素质要求较高,同时其测量精度也受到很大限制。于计算机视觉的图像测量技术是近年来在测量领域中形成的新的测量技术。它以光学为基础,融光电子学、计算机技术、激光技术、图像处理技术等现代科学技术为一体,组成的光、机、电的综合测量系统。图像测量方法具有非接触、高速度、动态范围大、信息量丰富等诸多优点^[2]。本文探讨了利用图像测量法进行布氏硬度测量的一种新的测量方法,它除具有图像测量法的全部优点外,还具有自动化程度高、人为误差小、抗噪声能力强的特点。

2 布氏硬度的图像测量法的基本原理

布氏硬度的测量是用一定直径 D (一般为 10mm) 的淬火钢球或硬质合金球为压头,施以一定的载荷 F (一般 3000kg),将其压入材料表面,经规定保持时间 t (s) 后卸除载荷,材料表面将残留压痕,测量压痕平均直径 d (mm)。载荷 F 与其压痕球形表面积之比即为布氏硬度值,单位为 N/mm^2 ,其计算式为:

$$HB = \frac{0.102F}{A} = \frac{0.102F}{\pi Dh} \quad (1)$$

式中, h 为压痕深度。

$$\text{因为 } h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2} \quad (2)$$

$$\text{故 } HB = \frac{0.102F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3)$$

从式(3)可以看出,参数 d (压痕平均直径) 的测量是关键部分,于是我们采用 CCD 工业摄像机对压痕进行图像采集,将采集到的压痕图像输入计算机,并对其进行图像处理以获得较为理想的压痕轮廓图像;然后进行直径测量与标定,从而可利用式(3)计算出布氏硬度。该方法主要包括三个步骤:压痕图像处理、压痕直径测量、标定与布氏硬度计算。

3 压痕图像处理

3.1 中值滤波

中值滤波可以克服线性滤波器所带来的图像细节模糊,而且对滤除随机干扰和脉冲干扰非常有效。压痕图像中压痕的轮廓为一圆形,对于这类有缓变的较长轮廓线物体的图像,则采用方形小窗口较合适,这样可以达到在保护图像轮廓的同时有效地去除噪声的目的^[3]。

3.2 特征提取

压痕图像特征提取的目的是为了检测出一个清晰、完整的压痕边缘轮廓图像,文中采用改进的 Canny 边缘检测算法来完成。

3.2.1 Canny 边缘检测^[4-5]

Canny 边缘检测算法共包含以下 4 步:①用高斯滤波器平滑图像;②用一阶偏导有限差分计算梯度幅值和方向;③对梯度幅值应用非极大值抑制;④用双阈值算法检测和连接边缘。

3.2.2 改进的 Canny 边缘检测

本文对 Canny 边缘检测算法从两方面作了改进。首先使用双线性模糊增强取代 Canny 边缘检测算法中的高斯滤波器;另外增加了第 5 步:细化边缘。

图像平滑滤波的主要目的是提高信噪比,消除噪声,然而在对图像进行高斯滤波时,边缘作为高频成分将被平滑掉,而且有些边缘变成了缓变的边缘,在图像的直方图表现上受到压缩,这样在非极大值抑制的时候,缓变的边缘将丢失^[6]。

而双线性模糊增强是双线性无损线性变换,因此在图像增强处理中,图像的高频和低频信息是无损的,并且可以无损复原,通过调整可调参数,可以提取更加详细的边缘信息或者忽略不需要的边缘信息,从而在噪声抑制和边缘检测之间达到最佳的平衡效果^[7]。最后通过细化边缘可使接下来的直径测量不会出现同心圆现象,因而能够保证测量结果的准确和唯一。图 1(b)、(c) 分别是对压痕图像(如图 1(a)) 利用 Canny 边缘检测和改进的 Canny 边缘检测算法处理后的结果。

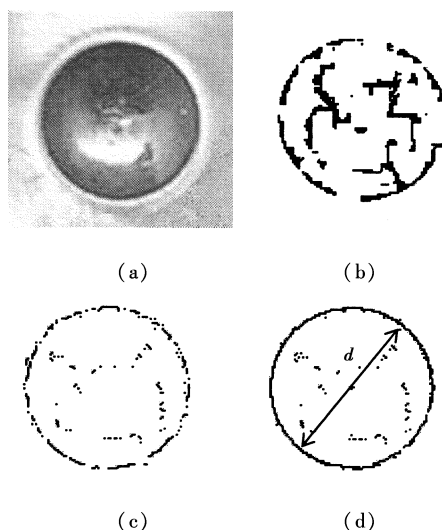


图1 压痕图像处理

Fig.1 indentation image processing

4 压痕直径测量

4.1 测量原理

$x-y$ 空间中圆的方程可表示为:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (4)$$

展开移项并整理后可得:

$$xa + yb - \frac{x^2 + y^2}{2} = c \quad (5)$$

其中, $c = \frac{a^2 + b^2 - r^2}{2}$ 。

从式(5)可以看出: $x-y$ 空间中一点对应 $a-b-c$ 空间一个曲面; $x-y$ 空间中 n 点将对应 $a-b-c$ 空间中 n 个曲面; $x-y$ 空间中圆上的 n 点将对应 $a-b-c$ 空间中相交于一点的 n 个曲面,此交点即为参数 a, b, c 。

4.2 算法实现

1) 准备一个表示 $a-b-c$ 空间的三维数组作为累加器, $a-b-c$ 空间的每一个单元都是一个累加器,把所有元素初始化为 0。

2) 将 $x-y$ 空间的每一特征点的坐标值代入式(5)中,得到 c 关于 a 和 b 的方程式。

3) 参数 a, b 为压痕圆心坐标参数,它们的变化范围以特征点的重心坐标 ($\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$) 为中心,区间大小视具体情况确定。让参数 a, b 的值按固定间隔(一般为 1 像素)逐渐变化的同时计算出 c 的值,并在 $a-b-c$ 空间描绘出该方程式所表示的曲面,找出曲面通过的数组元素,并使其加 1。

4) 当所有特征点的曲面描绘出来以后,找出三维数组中的最大元素,此最大元素所对应的数组下标即为参数 a, b, c ,于是由此可计算出压痕直径 $d = 2\sqrt{a^2 + b^2 - 2c}$ 。应用测量出的参数值能够作出理想的压痕圆形轮廓,结果如图 1(d) 所示。

5 标定与布氏硬度计算

上述所有过程均在图像空间中进行,故以上测量出的直径 d 单位为像素,而在计算布氏硬度时所要求直径的单位应为 mm,为此需对测量过程进行标定。如果采用 l mm 的标准量块作为基准件,则将材料压痕和量块同时进行图像采集,此后对量块图像应用霍夫变换检测出量块工作面边缘^[3],这样便可得到该标准量块在图像空间中的尺寸,假设为 L 像素,则标定系数 $k = L/l$ (像素/mm),直径为 d/k (mm),那么布氏硬度便可按式(3)计算得到。

6 实验及结果

6.1 实验介绍

实验所用设备包括:分辨率为 2048×1536 像素

的 CCD 工业摄像机;HB-3000 布氏硬度计;20 倍读数显微镜(最大分辨率 0.01mm);1mm 标准量块;被测试件。

利用 HB-3000 布氏硬度计(淬火钢球直径 D 为 10mm)对被测试件施加 3000kg 载荷,保持规定时间后卸除载荷,在试件上残留压痕,然后分别使用传统测量法以及文中提出的图像测量法测量其布氏硬度。传统测量法即使用读数显微镜从两个相互垂直方向测量压痕直径,测量值取其算术平均值,再根据已知条件计算出布氏硬度。CCD 工业摄像机采用近距拍摄,拍摄图像如图 2(与实际图像的比例为 1:2)所示。

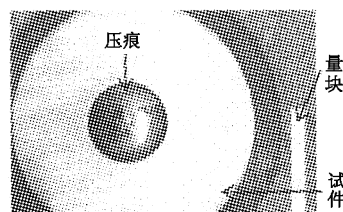


图2 实验采集图像

Fig.2 experimental image

6.2 测量结果

对 5 个不同被测试件按照规范进行布氏硬度测量,所得测量结果如表 1 所示。表 2 所示数据为测量相对误差。由表 1 中布氏硬度测量结果可以看出,两种测量方法所得结果基本相近;表 2 中显示的压痕直径的最大相对误差为 0.32%,布氏硬度的最大相对误差为 0.65%,由此说明本方法完全能够应用在一般的布氏硬度测量中。

表1 实验结果

Tab.1 experimental results

序号		1	2	3	4	5
测量方法及被测量						
传统测量法	压痕直径/mm	5.70	4.66	3.17	3.42	5.13
	布氏硬度	107	165.7	370.2	316.6	134.8
图像测量法	标定系数/(像素·mm ⁻¹)	14	20	22	32	34
	压痕直径/mm	5.71	4.65	3.18	3.41	5.12
	布氏硬度	106.6	166.5	367.8	318.5	135.4

表2 测量相对误差

Tab.2 measuring relative error

序号		1	2	3	4	5
被测量						
压痕直径		0.18	-0.21	0.32	-0.29	-0.19
布氏硬度		-0.37	0.48	-0.65	0.60	0.45

%

7 结 论

本文就布氏硬度的图像测量法的原理与实现过程进行了详细探讨。结论可归纳为以下两点:

1) 布氏硬度的图像测量法实质上是使用光学放大测量装置并结合数字图像处理技术的一种自动测量方法,它的测量准确度取决于装置的光学放大比率,也即标定系数 k , k 越大,则准确度越高。同时,文中提出的压痕直径测量算法不受轮廓不连续性以及噪声影响,并且最大限度地消除了人为误差,故测量精度高、可靠性好、抗噪声能力强。因此,该方法的测量精度明显优于传统测量法。

2) 该测量方法能够通过软件系统来完成,这样便可实现计算机自动检测,并在屏幕上自动显示被测压痕形状及压痕的测量值和相应的硬度示值以及与其他硬度值之间的相互转换,同时此方法也满足光洁度较差的试件的硬度测量。

参考文献:

- [1] 苏晓东. 布氏硬度工作基准机的误差分析[J]. 计量与测试技术, 2001, (2): 20-22.
- [2] 郑苹, 王耀青. 基于 Hough 变换的细丝直径图像测量系统[J]. 仪器仪表与分析监测, 2005, (3): 3-5.
- [3] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. Image processing, analysis, and machine vision[M]. Thomson Asia Pte Ltd., 2002.
- [4] Li Xu, Zhang Weigong. Research on detection of lane based on machine vision[J]. Journal of Southeast University, 2004, 20(2): 176-179.
- [5] Zhang Guobao, Liu Quan. Robust edge detection based on stationary wavelet transform[J]. Journal of Southeast University, 2006, 22(2): 218-221.
- [6] Canny J F. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on PAMI, 1985, 8(6): 679-698.
- [7] Han Peiyou, Dong Guiyun, et al. A Bilinear generalized fuzzy enhancement algorithm to image edge detection[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(2): 300-304.

上海南岭光学材料厂简介

我们一直不断地努力,追求完美的品质 上海南岭光学材料厂是红外光学材料硒化锌、硫化锌的专业生产厂家。建厂二十多年来,通过不断探索和科研攻关,工艺稳定,质量优良,应用的物理汽相淀积工艺,在国内处于领先地位。

本厂产品具有透过率高、抗激光破坏能力强、组织均匀、无杂质、透明度高等特点,与热压法所获得的晶体相比,具有更大的优越性,可与国际上先进的化学汽相工艺所生产的晶体相媲美,价格远远低于国外同类产品。产品应用:激光、红外探测、红外测温等领域制作窗口及光学元件、特种灯具等真空镀膜行业。

详细了解请登陆我们的网址: www.shnl.cn (上海南岭光学材料厂)

We continuously unceasing endeavor, pursues the perfect quality Shanghai Nanling optics store depot is the infrared optical material selenium zinc, the zinc sulfide specialized production factory. The factory has been put up for more 20 years, through unceasingly explores and the scientific research and tackle the key research project, the craft stable, the quality is fine, the application physical vapor phase deposition craft, in domestic it is at the leading position.

This factory product has the high transmissibility, the strong anti-laser destructive capability, the even organization, no impurity, the higher transparency characteristic, et al. The crystal with the heated-die pressing process to compare, has a bigger superiority, and it may compare with the crystal which the international advanced chemistry vapor phase craft produces, the price is lower than the overseas similar product by far. Product application: the laser, the infrared detection, infrared measure temperature and so on domain vacuum coating profession, manufacture window, optics part, special lamps and lanterns.

The detailed understanding please land our website: www.shnl.cn (Shanghai Nanling Optics Store Depot)

厂址(ADD): 安徽省郎溪县白茅岭光学材料厂(P. C.: 242124) 联系人(Contact person): 甘翠娥

电话(Tel): +86-563-6685305 传真(Fax): +86-563-6685305

Email: web@shnl.cn Website: www.shnl.cn