

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.08.014

轴承圆锥滚子外观缺陷检测研究^{*}

陈丹阳¹, 曹 丽², 林一高², 张秋坤², 钟舜聪^{2,3*}

(1. 漳州职业技术学院, 机械系, 福建 漳州 363000; 2. 福州大学 机械工程及自动化学院光学/太赫兹及无损检测实验室, 福建 福州 350108; 3. 福建省医疗器械和生物技术重点实验室, 福建 福州 350000)

摘要:针对目前基于目视法的轴承滚子表面缺陷检测效率低且容易受人为因素影响的问题, 基于光学单缝衍射原理搭建圆锥滚子外观缺陷检测系统。利用 CMOS 摄像头采集轴承滚子表面的衍射条纹图像, 与无缺陷衍射条纹图像进行了差分运算, 实现了对由于圆锥滚子表面存在缺陷引起衍射条纹局部弯曲导致图像变化的检测。采用形态学运算有效去除噪点并增强衍射条纹, 达到了改善图像质量的目的, 便于实现对轴承滚子表面缺陷有效检测和识别。利用了旋转圆柱体的摩擦力带动圆锥滚子的转动, 实现了圆锥滚子锥面所有区域的缺陷。研究结果表明, 基于单缝衍射原理的检测系统为轴承外观缺陷检测提供了一种高效、可靠、实时性好的工具, 可推荐应用于轴承工业中圆锥滚子外观缺陷的在线检测。

关键词:单缝衍射; 圆锥滚子; 形态学算法; 衍射条纹

中图分类号:TH841; TH133.33; TP2

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)08-1084-04

Appearance defect detection of tapered roller

CHEN Dan-Yang¹, CAO Li², LIN Yi-Gao², ZHANG Qiu-kun², ZHONG Shun-cong^{2,3*}

(1. Zhangzhou Institute of Technology, Zhangzhou 363000, China;

2. Laboratory of Optics, Terahertz and Non-destructive Testing & Evaluation, School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

3. Fujian Key Laboratory of Medical Instrument and Pharmaceutical Technology, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Aiming at resolving the problem of low efficiency of tapered roller appearance defect detection by visual method and the effect of human factor, an appearance defect detection system for tapered roller based on single-slit diffraction method was developed. A CMOS camera was employed to capture the diffraction fringe images from damaged bearing roller surface. The series of images was subtracted by intact bearing roller surface. From the subtracted images, the defect detection could be carried out by the deformed diffraction fringes caused by the existence of defect on the surface of bearing rollers. Morphological algorithm was applied to deduce the image noise and also to enhance the image quality of diffraction fringe. It facilitated the effective defect detection of tapered bearing roller. In order to detect all areas on the taper roller surface, a rotating cylinder was used to rotate the roller by the friction force. The experimental results demonstrate that the developed system provide a high efficient, reliable and real-time tool for appearance defect detection of tapered rollers and therefore, it can be recommended for real-time defect detection of tapered rollers in bear industries.

Key words: single-slit diffraction; tapered roller; morphological algorithm; diffraction fringe

收稿日期: 2015-05-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51005077); 教育部高等学校博士学科点科研基金(博导类, 20133514110008); 国家卫生和计划生育委员会科研基金(WKJ-FJ-27); 福建省杰出青年基金滚动项目(2014J07007); 福建省质量技术监督局科技项目(FJQI2013095, FJQI2013024); 福建省高等学校学科带头人培养计划(闽教人[2013]71号); 国家质检总局科技计划项目(2011QK216)。

作者简介:陈丹阳(1963-), 男, 福建泉州人, 副教授, 主要从事化工机械、无损检测等方面的研究。E-mail: 1457099746@qq.com

通信联系人:钟舜聪, 男, 研究员, 博士生导师。E-mail: zhongshuncong@hotmail.com

0 引言

轴承是在机械传动过程中起固定和减小载荷摩擦系数的部件,对机器的精度以及使用寿命有重要影响。因此,轴承的生厂商对于轴承滚子表面加工的质量的测量是必不可少的。现有的生产实践中针对于轴承滚子的表面加工质量的检测无专门的检测技术,多数仍采用目视法,依靠经验丰富的技工用眼睛一个一个对轴承滚子进行识别。测试者的主观因素会影响测试的结果;另外这种人工视觉检测方法检测速度和工作效率低,因此并不适用于大规模现代工业的要求^[1,2]。

黄昊等^[2]介绍了一种基于图像处理器的圆锥滚子表面缺陷的在线检测系统。徐琛^[3]提出一种利用离线样本学习实现轴承外侧表面缺陷在线快速检测的方法。陈廉清等^[4]采用计算机视觉识别技术对微小轴承端盖上的缺陷进行了自动识别,设计了一套适合于检测微小轴承表面缺陷的系统。该系统可以采集到高质量的图像信息,利用 SUSAN 算子实现了对图像的分割和微小轴承表面缺陷的快速检测。苏俊宏等^[5]针对圆柱型零件高曲率表面缺陷及外形尺寸不能同时进行在线检测的问题,设计并实现了基于机器视觉的在线检测系统。Yang 等^[6]利用机器视觉的方法实时在线检测圆锥滚子的表面缺陷。以上基于机器视觉的方法可以大大提高生产效率和生产的自动化程度,易于实现信息集成,但在检测微小圆锥滚子表面缺陷有一定的局限性,往往受到 CCD 相机的光学物理参数、光学投射器特征参数、传感器本身的结构参数及外界干扰源等等的影响。Jena^[7]提出采用振动方法来检测缺陷,但是这种基于振动的方法对小缺陷的检测效果比较不明显。

本研究采用光学单缝衍射原理搭建圆锥滚子外观缺陷检测系统,可以提高缺陷的检测精度和效率。

1 形态学算法

为了使得到的衍射条纹更清晰,通过采用形态学运算算法,可有效平滑条纹边缘、去除噪点。形态学运算是一种根据形态学思想发展起来的图像处理方法,主要的处理对象是二值图像。其主要内容是根据设计的运算、算法、概念,描述图像的基本特点。根据形态学的基本算法,处理和观察图像,可以达到改善图像质量的目的。描述图像的各种几何特征,如面积、骨架、周长等,这些数据可用于判断缺陷。最基本的形态学

运算有开运算和闭运算^[10]。

形态学开运算是指先对图像进行腐蚀操作后膨胀处理,以达到移除独立的小区域、小目标、平滑较大目标的边缘的目的,同时不明显改变图像的面积。

开运算的数学表达式为:

$$S = X \cdot B = (X \otimes B) \oplus B \quad (1)$$

式中: S —开运算后的图像; X —二值化后的图像; B —用来表示开运算的结构,每一个结构元素的值为 0 或 1。

利用开运算可以有效去除衍射条纹中存在的噪点。

形态学闭运算是先对图像进行膨胀操作后腐蚀处理,以达到填充物体目标图像内部微小的缝隙和孔洞,连接相邻目标以及平滑目标边缘的目的,同时不明显改变目标图像的面积。

闭运算的数学表达式可以表示为:

$$S^B = X \cdot B = (X \oplus B) \otimes B \quad (2)$$

式中: S^B —闭运算后的图像; X —二值化后的图像; B —用来表示闭运算的结构,每一个结构元素的值为 0 或 1。

2 基于光学单缝衍射的圆锥滚子外观缺陷检测系统

当光通过与波长相比限度足够小的障碍物时,理论上的阴影区域会观察到光,且光的强度并非均匀分布,这就是光的衍射现象^[8]。

夫琅禾费单缝衍射如图 1 所示。

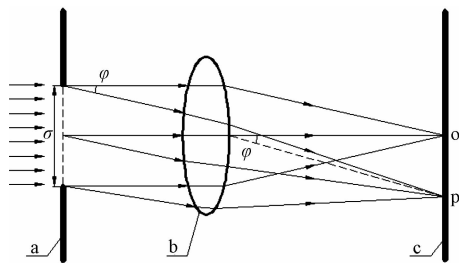


图 1 夫琅禾费单缝衍射

a—单缝;b—透镜;c—观察屏

单缝 $A-B$ 面上的子波源发出的平行光经聚焦在观察屏上的透镜焦点 O 。由透镜近轴光线的等光程性可知, $A-B$ 上个子波源发出的光到 O 点的光程相等,因此各光线在 O 点相互叠加呈现出明亮条纹,即中央明纹。

根据菲涅尔半波带法,单缝两端的子波源发出的光到 P 点的光程差满足下式:

$$a\sin\varphi=m\frac{\lambda}{2}\tag{3}$$

式中: a —单缝宽度; φ —衍射角; m —半波带数; λ 为平行光波长。

当 m 为偶数时,相邻两个半波带上相应的子波源发出的光的光程差为半波的奇数倍,在观察屏上干涉相消,呈现出暗条纹。同理,当 m 为奇数时,将会剩下一个半波带无法被消除,在观察屏上呈现出明条纹。对于其他无法满足式(3)的任意衍射角,此时的衍射光束介于明暗之间的中间区域^[9]。

衍射光路是圆锥滚子外观缺陷检测系统的基础,衍射条纹的清晰与否直接影响后续图像处理算法的难易程度和处理效果,因此光路的搭建至关重要。

检测系统如图 2(a)所示,光路主要由 5 个部分组成:激光器、透镜、单缝、观察屏、以及带有透镜的 CMOS 摄像头。单缝是利用一个静止的圆柱靠近圆锥滚子表面产生的。另外,由于要检测圆锥滚子的整个表面,所以需要让圆锥滚子转动的装置。该系统采用一个转动的圆柱带动圆锥滚子转动,从而实现对圆锥滚子表面曲面的检测。圆锥滚子转动的驱动装置如图 2(b)所示。为了检测圆锥滚子锥面所有区域的缺陷,这个旋转的圆柱是通过摩擦力带动圆锥滚子的转动,从而实现锥面所有区域的缺陷。从上述的单缝产生的衍射条纹,照射到如图 2(a)所示的观察屏上,再利用 CMOS 摄像头可以拍摄一系列不同圆锥滚子表面位置的衍射条纹实现图像的采集。

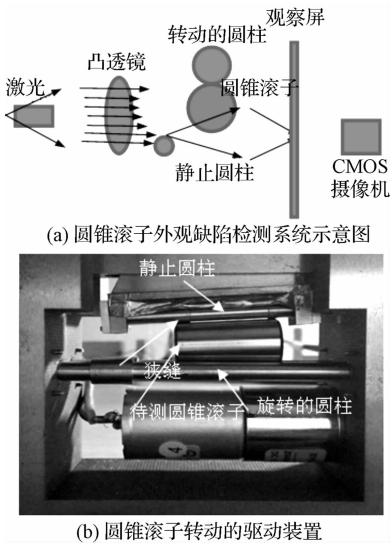


图 2 圆锥滚子外观缺陷检测系统

当圆锥滚子表面不存在缺陷的时候,衍射条纹基本是平行的如图 3(a)所示。当滚子表面存在缺陷时(相当于单缝宽度发生变化),此时检测系统可以将圆

锥滚子表面上的缺陷转化为相应的衍射条纹,此时衍射条纹将会在圆锥滚子相应部位会产生弯曲现象,如图 3(b)箭头所示的地方。利用 CMOS 摄像头可以实时捕捉条纹,一旦条纹发生变化就说明该处存在缺陷。这是检测系统的基本原理。

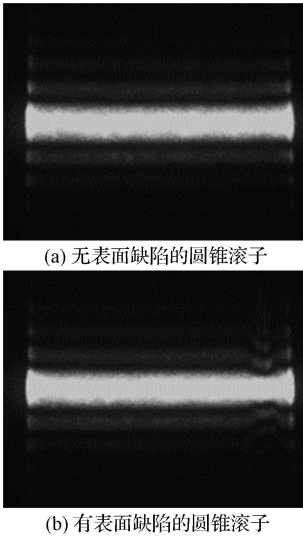


图 3 实验采集到的衍射条纹

3 实验及结果分析

为了便于提取上述因缺陷存在导致衍射条纹发生的局部变化,该系统利用有缺陷和无缺陷圆锥滚子衍射条纹图像的差运算来突出这种变化,从而实现对缺陷的有效检测。图像的差运算也称为差分运算,是一种常用于检测物体运动及图像变化的图像处理方法。处理原理是将一个图像矩阵中的像素值减去另一个图像矩阵中对应的像素值,并将得到的差值取绝对值依次赋值到另一个矩阵中,最后得到的便是两幅图像进行差运算后的图像。

有表面缺陷和无表面缺陷圆锥滚子的衍射条纹图像分别如图 4(a)和(b)所示。对有表面缺陷圆锥滚子表面缺陷衍射条纹图像和无缺陷图像进行差运算结果如图 4(c)所示,从图中可以看出在圆锥滚子缺陷处存在一些条纹,同时非缺陷处也存在不同程度的噪声。

本研究利用形态学运算平滑条纹边缘并去除噪点,结果如图 4(d)所示。从图中可以清晰准确得到圆锥滚子表面缺陷的存在。在实际工程应用中,利用 CMOS 摄像头可以实时捕捉条纹,一旦经过差运算和形态学运算的增强条纹有存在就说明该圆锥滚子存在缺陷,从而实现对有缺陷产品的筛选,可以实现检测的自动化。

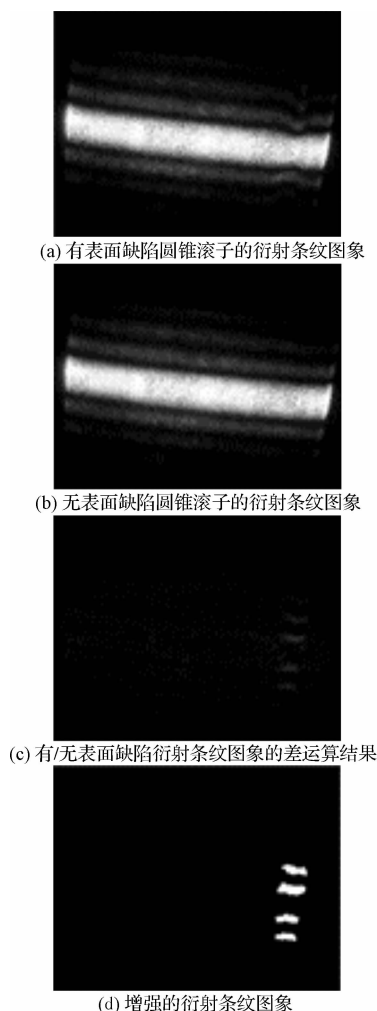


图4 圆锥滚子的衍射条纹图像处理

4 结束语

为了解决目前基于目视法的轴承滚子表面加工质量检测效率低,且容易受人为因素影响的问题,基于光学单缝衍射原理,本研究搭建了圆锥滚子外观缺陷检测系统。笔者利用 CMOS 摄像头采集了一系列不同圆锥滚子表面位置的衍射条纹图像,并将这些图像和没有缺陷圆锥滚子的衍射条纹图像进行差运算,然后再

利用形态学运算算法,有效去除噪点,并增强衍射条纹,便于轴承滚子表面缺陷有效检测和识别。

该系统可以实现对圆锥滚子存在表面缺陷产品的筛选,可以高效可靠地实现检测的自动化,可推荐应用于实际的轴承工业中。

参考文献 (References):

- [1] 廖水碧,肖明富. 金属制品表面质量缺陷无损检测的研究现状与展望[J]. 中国冶金,2007,17(3):48-51.
- [2] 黄 昊,陈於学. 基于图像处理器的圆锥滚子表面缺陷在线检测系统[J]. 机械与电子,2014,(2):77-80.
- [3] 徐 琛,温振市. 轴承表面缺陷检测系统的研究与开发[J]. 计算机应用与软件,2013,30(1),116-119.
- [4] 陈廉清,袁红彬. SUSAN 算子在微小轴承表面缺陷图像分割中的应用[J]. 光学技术,2007,33(2):305-307.
- [5] 苏俊宏,刘胜利. 基于机器视觉的高精密轴承在线检测[J]. 光学与光电技术,2013,6:60-64.
- [6] YANG Dong-lin, WU Wen-long. Automatic Detection System for Defects on Surface of Conelet Tapered Roller[C]//2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology. Paris: [s. n.], 2012:1070-1075.
- [7] JENA D. P, PANIGRAHI S. N, Precise measurement of defect width in tapered roller bearing using vibration signal [J]. **Measurement**,2014,55:39-50.
- [8] 刘绒侠,杨 郁. 基于 MATLAB 的夫琅禾费矩孔衍射仿真[J]. 实验科学与技术,2013(4):320-322.
- [9] 张明霞,艾小刚. 夫琅禾费单缝衍射光强分析与探讨[J]. 湘潭师范学院学报,2009,31(4):17-20.
- [10] 张翔宇. C-V 模型和数学形态学的红外图像处理方法[J]. 激光与红外,2014,44(1):30-34.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

陈丹阳,曹 丽,林一高,等. 轴承圆锥滚子外观缺陷检测研究[J]. 机电工程,2015,32(8):1084-1087.

CHEN Dan-Yang, CAO Li, LIN Yi-Gao, et al. Appearance defect detection of tapered roller[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(8):1084-1087.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>