

技术专论

基于电子剪切散斑法的塑封材料的无损检测

米红林^{1,2}, 何小元²

(1. 上海应用技术学院, 上海 200235; 2. 东南大学, 南京 210096)

摘要: 为检测轻工业产品的密封性能,应用电子错位散斑法对密封盖、药用密封装置以及食品塑封进行了检测。结果表明:电子错位散斑法能够较好地识别不同密封装置,不同部位,大小、形状各不相同的缺陷,迅速准确地对塑料密封结构质量做出判断;该方法操作简便,对缺陷部位敏感,能够较好地应用于实际现场测试。

关键词: 无损检测; 电子剪切散斑法; 塑封材料

中图分类号: TB487; TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)05-0029-03

Nondestructive Examination of Plastic Sealing Materials by ESSPI

MI Hong-lin^{1,2}, HE Xiao-yuan²

(1. Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China; 2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: In order to test the sealed performance of plastic product for light industry, sealed cap, medical sealed device and sealed part for food plastic bag were tested by ESSPI technique respectively. The results showed that defects of different sealed devices, different parts, dimensions, and shape can be identified by ESSPI method. Simultaneously, this technique is convenience for operation and is very sensitive to the deflective parts. ESSPI method can be used in nondestructive test on spot.

Key words: nondestructive test; electronic shear speckle pattern interferometry (ESSPI); sealing plastic material

塑料制品因其高韧度、可塑性强、成本低、可重复利用而广泛应用于食品、制药、化工等行业的产品包装。作为产品包装,由于所包装产品性质的要求限制,对其密封性要求较高,而产品制造和使用过程中的涂胶、干燥以及材料自身质量问题,都可能产生粘结界面的脱胶问题。脱胶以及含气泡等问题直接关系到塑料密封能,以至于影响被包装产品质量,所以研究包装产品的气密性尤其重要^[1]。

笔者应用电子散斑剪切法对塑封产品进行检测。散斑法作为一种光学计量技术,因其设备简单、操作方便而得到了广泛应用,但是在力学测试中,往往需要的是应变,即位移的导数,由 Y. Y. Hung 提出的剪切散斑干涉法,可以直接得到位移的导数^[2-3]。在一

般情况下,平面内相比离面位移可以忽略不计,可以利用剪切散斑法直接得到离面位移对 x 方向和 y 方向的导数的等值线条纹,这对无损检测具有重要的意义。自从电子剪切散斑法被提出以来,就因其全场、非接触、无污染、高精度和高灵敏度、不需特殊防震、不受工件外形几何尺寸限制、快速实时并可在线检测等优点被工业界所接受和使用,广泛用于轮胎^[4-5]、木材^[6]、航空航天结构、复合材料以及玻璃器件内部气泡的无损检测^[7]。在利用电子剪切散斑干涉法进行无损检测时,施加各种载荷,使被测物体在内部缺陷处产生比其他部分更大的变形,从而产生错位散斑干涉条纹。目前常用的加载方式有真空加载、热加载、电磁激振加载和音频扫描激振方式等^[8],笔

收稿日期: 2010-10-10

基金项目: 上海市教育委员会一般项目(060Z028)

作者简介: 米红林(1974—),男,辽宁人,博士,上海应用技术学院副教授,东南大学国内访问学者,主要从事实验固体力学及图像处理信息处理。

者采用热加载方式。

1 检测原理

电子错位散斑光路见图 1^[9], 测试现场见图 2, 由

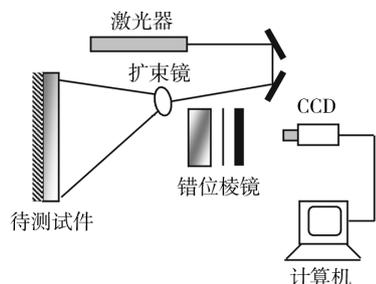


图 1 电子错位散斑光路原理

Fig. 1 Principle of ESSPI

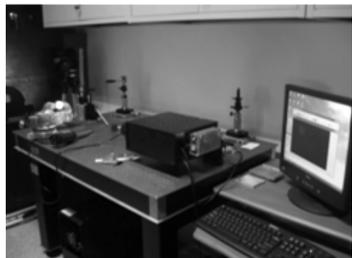


图 2 电子错位散斑光路实验装置

Fig. 2 Experimental device of ESSPI

激光器发出的激光, 经扩束镜后照射在具有漫发射的物体上, 然后, 漫反射的光线通过 Wollaston 棱镜, 将产生偏折, 在像平面上产生 2 个错位的像, 错位角与剪切棱镜的剪切角相同, 可以通过采用不同剪切角的棱镜或采用文献^[9]的方法增大错位量。设物面上的一点 p_1 , 经过剪切装置后, 在像面上形成相邻 p_2 点。设 p_1 和 p_2 点的初相位分别为 ϕ_1 和 ϕ_2 。在物体未变形时进行第一次采集, 此时由 CCD 记录下的光强分布为^[2,5,7,9]:

$$I_1 = A_1^2(x, y) + A_2^2(x, y) + 2A_1(x, y)A_2(x, y) \cdot \cos \theta \quad (1)$$

其中: $A_1(x, y)$ 和 $A_2(x, y)$ 分别为两点的光的振幅分布; $\theta = \phi_1 - \phi_2$ 。

变形后, 由于光程的变化, p_1 和 p_2 点发生相位改变 $\Delta\phi_1$ 和 $\Delta\phi_2$ 。因此第 2 次采集的待测物在 CCD 上记录下的光强分布为:

$$I_2 = A_1^2(x, y) + A_2^2(x, y) + 2A_1(x, y)A_2(x, y) \cdot$$

$$\cos(\theta + \Delta\phi) \quad (2)$$

式中: $\Delta\phi = \Delta\phi_1 - \Delta\phi_2$ 。

对两幅图相减, 则:

$$I = \alpha |I_1 - I_2| = 4\alpha A_1(x, y)A_2(x, y) |\sin(\theta + \Delta\phi/2) \sin(\Delta\phi/2)| \quad (3)$$

式中: α 是图像灰度与光强的比例系数, 该值为常数, 当光照均匀时可以认为 $A_1(x, y) = A_2(x, y) = A$, 所以:

$$I = 4\alpha A^2 |\sin(\theta + \Delta\phi/2) \sin(\Delta\phi/2)| \quad (4)$$

得出了被正弦调制了的条纹。

2 实验

检测实验使用的 CCD 为日本 AVERNIR 的 CCTV, 直径 22.5 mm, F1.4, 激光器采用固体绿泵浦激光器, 波长 532.8 nm, 棱镜采用 Wollaston 棱镜, 剪切角为 0.5。

2.1 密封盖无损检测

实验用密封盖采用常用饮料气密盖, 直径为 $\phi 25$ mm, 厚度为 1 mm。实验在防震台上进行, 对待测盖用大功率电吹风加热, 如果气密性好, 则加热会产生离面位移, 同时为了增强散斑条纹图的对对比度, 在待测圆面区域喷涂白色无光漆, 试件见图 3, 实验结果

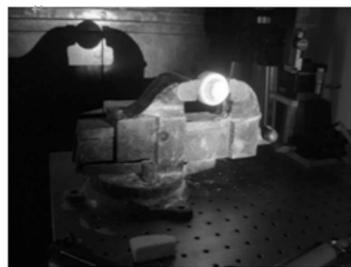


图 3 检测试件

Fig. 3 Experimental specimen

见图 4。对无气密性的盖, 则不产生干涉条纹, 显现的是散斑图。

2.2 药用密封装置无损检测

实验采用常见药用密封装置见图 5。缺陷为自制缺陷, 将金属皮剥掉后, 剪成 $\phi 5$ mm 的圆形, 将其周围涂抹胶水后粘贴于基底上。采用热加载, 同时为了增强散斑条纹图的对对比度, 在待测区域喷涂白色无光漆, 通过 CCD 和图像采集卡将被检测表面的散斑图传输到计算机, 利用相关软件进行实时相减处理,

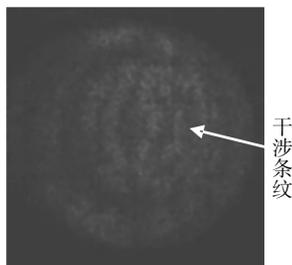


图 4 剪切散斑法得到的干涉条纹

Fig. 4 Interferometry fringe by ESSPI

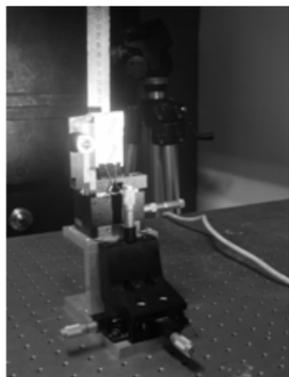


图 5 药用密封装置无损检测实验装置

Fig. 5 Experimental device for NDI of medical sealed device



图 7 食品包装塑封无损检测实验装置

Fig. 7 Experimental device for NDI of sealed plastic food packaging

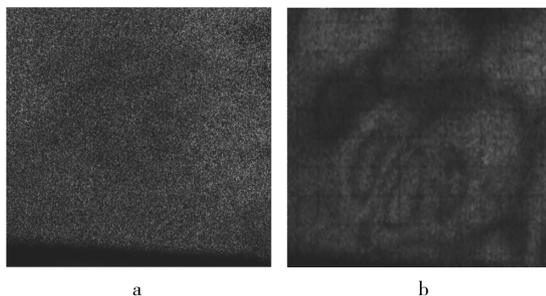


图 8 剪切散斑法得到的内部缺陷条纹

Fig. 8 Internal defect fringes of by ESSPI

可以实时显示被测部位的离面变形情况。有缺陷的部位检测结果见图 6,无缺陷的部位则显现散斑图。

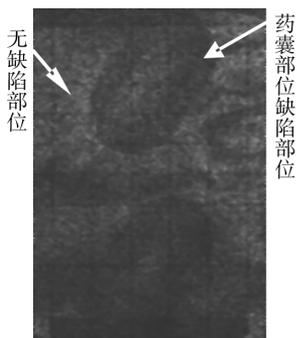


图 6 剪切散斑法得到的内部缺陷条纹

Fig. 6 Internal defect fringe by ESSPI

2.3 食品包装塑封无损检测

采用硬质塑料密封袋为研究对象,首先将实验部位喷涂无光白漆后夹紧在支座上,底座由磁性座固定于防震台上,见图 7。正常的无缺陷的密封部位采集到的散斑见图 8a,无干涉条纹出现。为比较 ESSPI 技术对缺陷的表现,自制缺陷,将脱粘部位的口部用胶密封,内部留有夹层,采用热加载,由 CCD 采集后

经图像相减处理,得到缺陷部位的条纹见图 8b。

3 结论

由于实验所用电子剪切散斑干涉仪(ESSPI)没有相移装置,因此没有采集到相位图,无法得到缺陷的三维形貌,但从得到的“蝴蝶”形状干涉条纹,可以确定缺陷的部位,而缺陷大小可以通过实验前进行标定来确定每个像素所代表的实际尺寸,最后可以根据“蝴蝶形状”进行估算缺陷的尺寸范围。

通过应用电子剪切技术(ESSPI),对轻工业中常见的密封装置进行了无损检测,结果显示,该方法能够迅速准确地对密封及缺陷部位的质量进行识别并作出有效评估,相对于其他无损检测技术,该项技术加载(真空或外载荷或热载荷)简便,防震要求低,便于操作,可以对包装袋、瓶、管、罐、盒等的密封性进行现场产品的抽样和在线检测,可以和其他无损检测技术(X射线、超声波和激光全息无损检测等)进行互补,并且具有良好的重复性,与计算机图像处理技术相结合,能够快速检测缺陷位置、大小和深度。

差,但效果并不显著。

所讨论的模型外界环境温度都是恒定不变的,而实际运输过程中环境温度不是一成不变的,所以今后还应讨论在温度变化情况下模型 2 的适用性。另外模型 2 必须在最大边长与最小边长的比值不超过 2 时方可使用,对于超过此范围的实体保温箱,还应寻求其他模型来更准确地描述实际保温箱的传热过程,从而为保温包装设计奠定基础。

参考文献:

- [1] CHOI Seung-jin, BURGESS Gary. Practical Mathematical Model to Predict the Performance of Insulating Packages [J]. Packag Technol Sci, 2007, 20: 369—380.
- [2] SINGH S P, BURGESS G, SINGH J. Performance Com-

parison of Thermal Insulated Packaging Boxes, Bags and Refrigerants for Single-parcel Shipments [J]. Packag Technol Sci, 2008, 21: 25—35.

- [3] MATSUNAGA K, BURGESS G, LOCKHART H. Two Methods for Calculating the Amount of Refrigerant Required for Cyclic Temperature Testing of Insulated Packages [J]. Packag Technol Sci, 2007, 20: 113—123.
- [4] BURGESS G. Practical Thermal Resistance and Ice Requirement Calculations for Insulating Packages [J]. Packag Technol Sci, 1999, 12: 75—80.
- [5] QIAN Jing. Mathematical Models for Insulating Packages and Insulating Packaging Solutions [D]. Memphis, TN: University of Memphis, 2010.
- [6] 张朝晖. ANSYS 热分析教程与实例解析 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007.

(上接第 31 页)

下一步工作就是增加相移装置,测出缺陷的三维形貌,研究灵敏度,对不同的轻工业包装产品进行进一步测试和研究。

参考文献:

- [1] 邵文全,李砚明,孟宪文,等. 脱胶缺陷对蜂窝板侧压强度的影响 [J]. 包装工程, 2008, 29(12): 59—61.
- [2] 计欣华,邓宗白,鲁阳. 工程实验力学 [M]. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] HUNG Y Y. A Speckle-Shear Interferometer: A Tool for Measuring Derivatives of Surface Displacement [J]. Opt Commun, 1974, 11(2): 132—135.
- [4] 陈育彬,黄道平,曾启荣,等. 基于测度贴近度的电子剪切散斑轮胎检测 [J]. 微计算机信息, 2006, 22(19): 109

—111.

- [5] 徐驰,王喜顺,陈育彬. 剪切电子散斑干涉检测轮胎中的图像缺陷 [J]. 微计算机信息, 2007, 23(12): 285—286.
- [6] 邹广平,芦颖,王微微. 电子剪切散斑技术在木材无损检测中的应用 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 30(4): 357—361.
- [7] 洪友仁,何浩培,何小元. 剪切散斑:一种光学测量技术及其应用 [J]. 实验力学, 2006, 21(6): 667—688.
- [8] 刘宝会,秦玉文,曲日,等. 宽音频扫描加载的电子剪切散斑技术在多层粘接板结构无损检测中的应用 [J]. 实验力学, 2003, 18(2): 229—233.
- [9] 金观昌. 计算机辅助光学测量 [M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2007.

(上接第 37 页)

3) 当 N 取 1 时,多次跌落情形下的加速度值回归于传统的产品脆值。

参考文献:

- [1] 杨志. 论日用陶瓷产品的包装设计 [J]. 科技简报, 2003, 36(9): 29—31.
- [2] 王春雨. 陶瓷包装现状及改进建议 [J]. 佛山陶瓷, 2002, 65(8): 25—26.
- [3] 王伟. 我国陶瓷包装的现状与发展思路 [J]. 中国包装, 2002(1): 40—41.
- [4] 王晓平,黄灵仙,刘启顺,等. 陶瓷工艺品包装的力学建模和设计方法研究 [J]. 包装工程, 2006, 27(4): 33—35.
- [5] 宋海燕. 运输包装理论与技术发展动态 [J]. 包装工程, 2005, 26(3): 108—110.

- [6] 徐人平. 产品脆值的置信度研究 [J]. 理化检验—物理分册, 2002, 38(10): 424—426.
- [7] 周明砚,张峻岭. 缓冲包装设计理论的发展及方向 [J]. 包装工程, 2005, 26(2): 70—71.
- [8] NEWTON R E. Fragility Assessment Theory and Test Procedure [R]. Monterey Calif: Monterey Research Laboratory, Inc, 1968.
- [9] 吴浩然,王振林,应祖光,等. 半正弦波冲击时立方非线性产品包装损坏边界曲线 [J]. 包装工程, 1996, 17(4): 5—8.
- [10] TOTTEN T L, BURGESS G J, SINGH S P. The Effects of Multiple Impacts on the Cushioning Properties of Closed-Cell Foams [J]. Packaging Technology & Science, 1990, 3: 117—122.