

数字散斑相关在指接集成材力学性能测试中的应用

刘美华^{1,2}, 李鸿琦², 王静², 孟毅¹, 崔小鹏²

(1. 天津商学院 机械工程学院, 天津 300134; 2. 天津大学 机械工程学院实验力学, 天津 300072)

摘要:以 Visual C++ .NET 为开发工具, 将面向对象编程技术引入到数字散斑相关方法中, 对所开发的程序通过计算机模拟和实验两个方面进行了有效性的验证。应用开发的程序计算斜接头指接集成材受拉伸作用时的变形规律, 结果表明: 被测试件在受到拉伸作用时, 同一表面两边的位移量大于中间部位的位移量; 对于一个完整的齿面, 齿顶的变形较根部的变形大, 而且顺木材纹理方向与垂直木材纹理方向呈现出不同的变形规律。散斑相关计算木材生长方向的泊松比 μ_{LT} 为 0.1~0.3。

关键词:数字散斑图像相关; 面向对象编程技术; 指接木材; 力学性能; 无损检测

中图分类号:S781.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2007)03-0144-04

Application of Digital Speckle Correlation Method in Measuring Mechanical Property of Fingerlike Diagonal Joint of Wood

LIU Mei-hua^{1,2}, LI Hong-qi², WANG Jing², MENG Yi¹, CUI Xiao-peng²

(1. Department of Mechanical Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

万方数据

Abstract: A program object-oriented to digital speckle correlation method via Visual C++ .NET is introduced and class-library of digital correlation program by adopting standard C++ developed. At the same time, a program frame utilized to manage and run these classes was developed as well. The validity of the program was verified through numerical simulation and experiment. The program was used for deformation law of fingerlike diagonal joint of wood in tension. The results indicated that deformation in the root was larger than in the top of teeth and deformation laws were different in parallel and vertical direction to wood grain.

Key words: digital speckle correlation; program object-oriented; fingerlike diagonal joint of wood; mechanical property; nondestructive examination

传统的木材力学性能测试采用电测法, 这种方法以点测量为基础, 得到木材的相关力学性能参数。电测法是一种很成熟的力学测试方法, 但由于不能获得全场的变形信息, 在木材力学测试中具有一定的局限性。近年来, 光测方法逐渐受到许多学者的重视, 其中数字散斑相关方法以其全场、非接触、高精度、测量敏感及测量范围大等特点被成功地应用于包括木材等材料的力学测试研究中^[1]。

数字散斑图像相关(DSCM)是对全场位移和应变进行量化分析的光测实验力学方法, 它的基本原

理是通过比较试件变形前后表面散斑图的变化来获得位移和应变场。该方法由 Yamaguchi 和 Peters 等人于 20 世纪 80 年代初提出^[2,3], 后又经许多学者的发展成为一种比较成熟的变形场测试方法。较之其他光测力学方法, 数字图像相关技术更加依赖于计算机的运算, 因此, 一些学者在如何加快相关运算速度、提高运算精度等方面作了研究^[4~6]。从发展的角度, 随着计算机和图像采集设备性能的提高, 数字图像相关技术的运算速度及运算精度将得到飞跃性的提高, 从而得到更广泛的应用。本研究基于 C++ 设

收稿日期: 2006-03-20 修回日期: 2006-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(10402022)

作者简介: 刘美华(1963-), 女, 辽宁丹东人, 副教授, 主要研究方向是材料细观力学。

计,开发出一套强大、灵活、易于理解、易于维护和扩展,可移植的软件,此软件架构主要用于数字散斑程序的开发,由十几个相对独立、功能完备的类组成,因此,程序的插值算法、优化算法、匹配算法等可以很容易地用其他的算法代替,也可以单独地把这些算法提取出来用于其他的科学计算,极大地方便了软件的使用,有利于软件的大范围推广和商品化。对开发的程序进行计算机模拟,其计算误差不超过

0.3%;对指形斜接头集成材进行拉伸性能测试,得到被测试件表面全场的拉伸变形规律。

1 材料与方 法

1.1 程序验证

为了确保程序的可靠性,首先用程序模拟了散斑图像的位移(水平位移为 1.235 个像素,竖直位移为 2.325 个像素),表 1 为程序的部分计算结果。

表 1 计算机模拟验证程序的精度

Table 1 The programme simulation precision

横坐标	纵坐标	迭代次数	相关系数	水平位移	水平位移误差 /%	竖直位移	竖直位移误差 /%
100	100	8	0.999 923	1.232 36	0.213 470	2.321 77	0.138 808
100	101	2	0.999 921	1.232 77	0.180 825	2.322 36	0.113 620
101	100	2	0.999 924	1.232 16	0.230 014	2.322 17	0.121 758
101	101	2	0.999 922	1.232 57	0.196 955	2.322 51	0.107 056

根据计算结果,平均误差为 0.202 833 4%,程序精度为 0.002 像素(1 像素约为 0.042 mm)、84 nm,程序是可行的,并且精度很高。

1.2 被测试件与设备

拉伸设备选用江都精艺试验机械有限公司生产的 JWL-10KN 型电子拉力试验仪。试件选用水曲柳作为原材料制成的斜接头指接集成材,尺寸为标准件(图 1)。

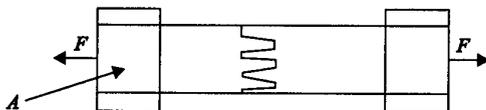


图 1 试件拉伸受力示意图

Fig. 1 Drawing of the specimens pulled

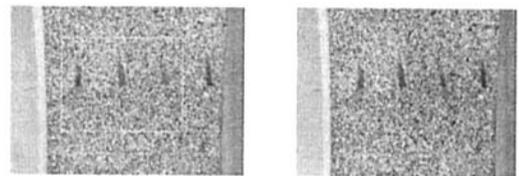
数据的采集方法是在连续加载的同时,用计算机通过 CCD 记录试件接头处的散斑图。图像相关计算在 CPU P4 3.16G、内存为 DDR 256M 的 PC 机上进行,数据的图形显示在 MATLAB 下完成。试验分别对试件的 2 个部位进行了测试。

2 结果与分析

2.1 对试件 A 面齿与齿结合部位的测试

用数字散斑相关技术可以很方便地对试件任意受力区域、任意载荷作用下的表面进行位移测试,测试区域大小将影响计算时间。图 2(a,b)为试件 A 面分别在拉力为 3 470 N 和 100 47 N 作用下的散斑图(测试区域为 768×534 像素),两幅图所受拉力差为 6 577 N。其中,图 2(a)所示矩形区域为试件受力面区域,计算区域起点坐标(170,100),计算区域范

围为 400×300 像素。计算区域包含 3 个齿,计算量共 120 000 个像素点,总耗时为 32 h 15 min 52 s。



(a) 拉力为 3470N

(b) 拉力为 10047N

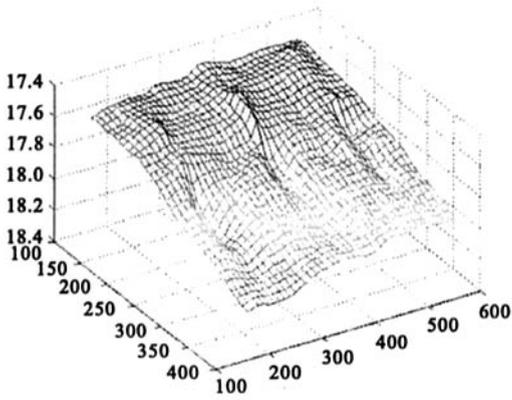
图 2 试件 A 面齿根与齿顶部位的散斑图

Fig. 2 The speckle graphs of the specimen A surface engagement of gear teeth

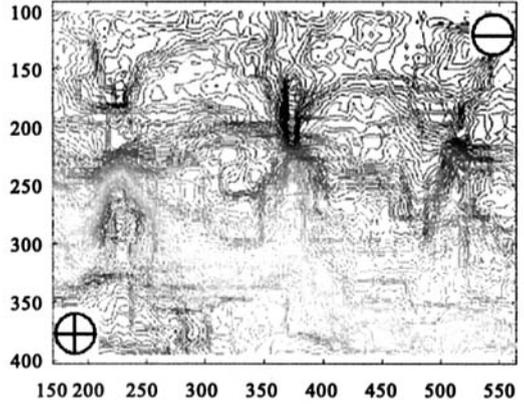
图 3 为计算图 2 所选区域的纵向位移场网格图(坐标均为像素,每像素 0.042 mm)。根据图 3(a)可知,所选区域的上部较下部的变形量大,左侧较右侧的变形量大。图 3(b)是以等高线的方式显示计算区域不同部位变形量的分布情况,根据此图,可以判断 3 个结合齿部位的变形情况,明显地,左侧第 1 个齿的纵向变形量最大。从图 3 可以得出如下结论:(1)在同样拉力作用下,以齿与齿接合部位为界,接合部及其以上部位较接合部及其以下部位的位移量大,并且越靠上部位位移量越大;(2)左侧第 1 个齿及其周围的纵向位移比其他 2 个齿的纵向位移大;(3)齿与齿结合部位的变形较大。因此,尽管指接木材采用同种材质,但受力变形状态是不同的;被测试件的左侧两齿结合状况不及中间部位的好,越接近中部,齿与齿结合越好。

图 4 为试件 A 面横向位移图(图中坐标均为像

素,每像素 0.042 mm)。



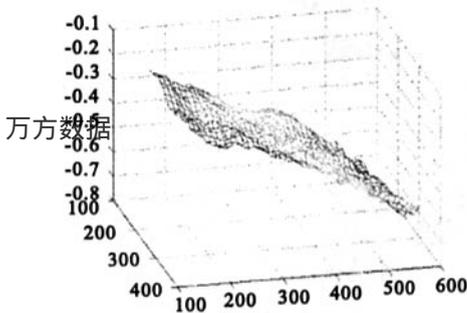
(a)纵向位移的网格图



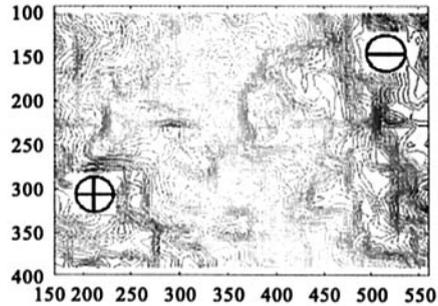
(b)等高线图

图 3 试件 A 面纵向位移场

Fig. 3 The portrait displacement field on the specimen A surface



(a)水平位移的网格图



(B)等高线图

图 4 试件 A 面横向位移场

Fig. 4 The level displacement field on the specimen A surface

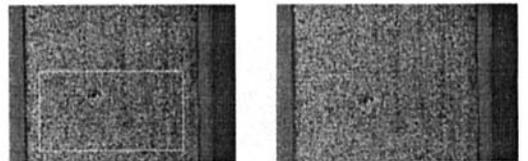
由图 4 可知,横向位移均为负值,表明横向是处于压缩状态。图 4(a)区域左侧变形大于右侧变形,并且,在计算区域范围内,不同横向剖面内,由左向右的变形趋势一致。反映了该试件沿长度方向的受压缩变形是均匀的。图 4(b)是以等高线的方式显示计算区域不同部位横向变形量的分布情况。

结合图 3、图 4 可以看出,试件 A 面在受到轴向拉伸作用时,无论受到的拉伸变形,还是压缩变形,其左侧部位的变形量比右侧部位的变形量大,形成很有规律的变化趋势。表明该试件的 A 面承受力的能力是不同的,在同样力的作用下,变形量大的部位最先遭到破坏。

在被测表面区域内,该试件沿生长方向的泊松比值在一定范围内变动,通过计算,确定其泊松比 μ_{IT} 为 0.1~0.3。

2.2 对试件 A 面完整齿面的测试

图 5 分别是拉力为 805 N 和 2 977 N 的散斑图(区域均为 768×534 像素)。



(a) 拉力为805N

(b) 拉力为2977N

图 5 单个完整齿的散斑图

Fig. 5 The speckle graphs of a single full tooth surface

图 5 所示矩形区域为计算区域,区域起点坐标为(100,225),区域宽度为 490 像素,区域高度为 270 像素。计算量为 136 300 个像素点,用时 8 h 43 min 37 s。

图 6 为单个完整齿 A 面纵向位移图,图中坐标

均为像素(每像素 0.042 mm)。

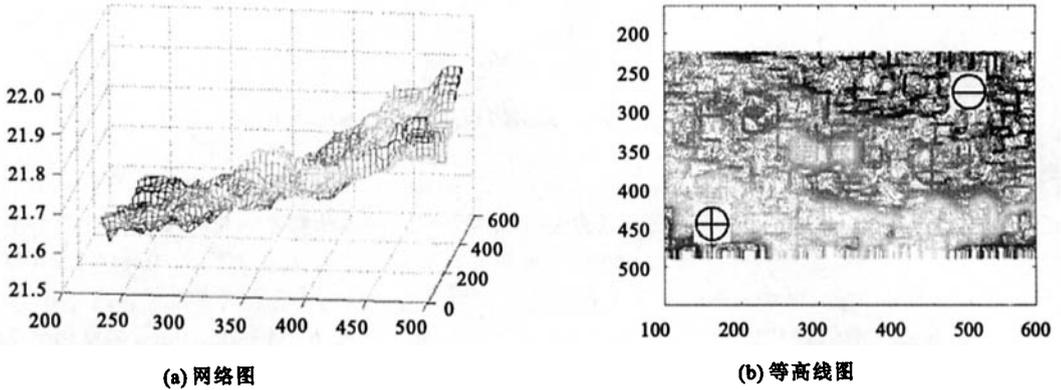


图6 单个完整齿A面的纵向位移

Fig.6 The portrait displacement of a single full tooth surface

2幅图拉力差为2192 N,相差较小。即便如此,数字散斑方法也可以计算出不同区域的受力变形情况。根据图6(a),区域下部(齿顶)比上部(齿根)的位移大,说明对于一个完整的齿面,由于齿顶截面尺寸小于齿根,直接影响其承受拉伸变形的能力。在生产指接集成材时,可以通过提高结合部位的连接强度来提高齿顶的强度,从图6(a)可以看出,由齿顶到齿根,位移变化率基本一致,变形趋势相同。

通过上述的测试与计算表明,数字散斑相关技术在分析木材全场局部区域受力变形中显示出其极大的便利,特别是在对结构部件受力分析方面,表现出了其他测试方法所不具有的独特优势。

3 结论与讨论

斜接头形式指接集成材的齿顶与齿根结合部位在受到拉伸作用时,两表面均产生纵向变形和横向变形,但纵向拉伸变形与横向压缩变形的变化趋势是不同的。

对于一个完整的齿面,纵向拉伸变形时,齿顶的变形较齿根要大,而横向变形在顺木材纹理方向与垂直木材纹理方向的变形也表现出不同的规律。

应用所开发的散斑程序,计算出指接集成材表面沿生长方向的泊松比 μ_{LT} 为0.1~0.3。

数字散斑图像相关技术是一种测试木材力学性能的有效而实用的方法,尤其在指接集成材这类不

均质材料的测试中,更能显示出其他测试方法所没有的独特优势。它能对被测材料的全场进行变形测试计算,并且可以很方便地确定出材料的受力薄弱部位。

本文开发的程序为木材力学性能测试分析提供了一种新的手段。但是,程序在某些方面需要进一步完善,如计算速度、精度还需进一步提高。

参考文献:

- [1] 江泽慧,费本华,张东升,等.数字散斑相关方法在木材科学中的应用及展望[J].中国工程科学,2003,5(11):1-7.
- [2] Yamaguchi I. Laser-speckle strain gauge[J]. Journal of Physics E, Scientific Instruments, 1981, 14(11):1270-1273.
- [3] He Z H, Sutton M A, Ranson W F, et al. Two-dimensional fluid-velocity measurements by use of digital-speckle correlation techniques [J]. Experimental Mechanics, 1984, 24 (2): 117-121.
- [4] Chu T C, Ranson W F. Two-dimensional fluid velocity measurement by use of digital-speckle correlation technique[J]. Exp. Mexh., 1984, 24(2):117-121.
- [5] Sutton M A. Application of an optimized digital correlation method to planar deformation analysis[J]. Image and Vision Computing, 1986, 4(3):143-150.
- [6] Bruch H A, McNeill S R, Sutton M A, et al. Digital image correlation using newton-raphson method of partial differential correction[J]. Experimental Mechanics, 1998, 29(3):261-267.
- [7] Bruck H A, McNeill S R. Digital image correlation using newton-raphson method of partial differential correction[J]. Exp. Mech., 1989, 29(3):261-267.