

复合材料的射线检测技术

杨宝刚 金虎 任华友 吴东流

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

摘 要 简述了复合材料无损检测方面一些通用的射线检测方法,并通过对胶片射线照相技术、射线实时成像技术、计算机断层扫描成像技术、康普顿背散射成像技术等射线检测技术的系统介绍,展望了未来复合材料射线检测技术的发展趋势。

关键词 复合材料,射线检测,胶片射线照相技术,射线实时成像技术,计算机断层扫描成像技术,康普顿背散射成像技术

X-ray Testing Technology for Composites

Yang Baogang Jin Hu Ren Huayou Wu Dongliu

(Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract X-ray testing technology for composites is briefly introduced. By introduction of the testing methods of film radiography, real time radiography, computed tomography, Compton back scattering tomography and so on, the future developing trend of X-ray testing technology for composites is presented.

Key words Composite, X-ray testing, Film radiography, Real time radiography, Computed tomography, Compton back scattering tomography

1 前言

复合材料的迅速普及与应用,为复合材料及其产品的检测提出了越来越高的要求^[1]。作为传统的无损检测方法,射线检测具有影像直观、便于保存等特点,再加上近年来射线检测方法的不断更新与快速发展,使得射线检测的检测能力和检测范围都有不同程度的提高。目前,射线检测仍然是复合材料无损检测最直接最有效的检测方法之一。

2 复合材料的射线检测技术

对于复合材料而言,射线检测方法是一种重要的无损检测方法,它主要由胶片射线照相技术、射线实时成像技术、计算机断层扫描成像技术、康普顿背散射成像技术等射线检测技术组成。

2.1 胶片射线照相技术

胶片射线照相无损检测技术是射线源发出的射线透过被检物体,利用被检物体与其内部缺陷介质对射线强度衰减的程度不同来携带被检物体内部信息,并用射线胶片记录下来,经显影、定影等处理,在胶片上形成透视投影影像,通过对影像的识别来评定被检物体内部是否存在不连续性的一种射线无损检测方法,是其它射线检测技术的基础,也是应用最广泛的射线检测技术。

虽然近年来非胶片成像技术方兴未艾,但传统的胶片照相技术在射线检测中仍具有重要的作用。在成像质量上,特别是当缺陷尺寸小于 0.25 mm 时,胶片图像质量要远优于 DR(数字射线成像)等非胶

收稿日期:2003-10-24

杨宝刚,1974年出生,高级工程师,主要从事无损检测工作

片照相技术。因此人们仍在着眼于改进胶片质量和提高射线本身及射线系统的质量(如微焦点等技术)以提高成像质量,避免图像对比度受被检物体形状、大小、被检材料晶粒大小和取向等因素的影响。

对于复合材料的检测,胶片射线照相技术经过多年的发展已比较成熟。美国于1992年修订了军标 MIL-HDBK-733《复合材料无损检验方法 射线照相》^[21]。我国也在1990年制订了军标 GB1038《纤维增强塑料无损检验方法》^[31],2003年进行了重新修订,针对复合材料的射线检测和超声波检测提出了新的要求与规范。

2.2 射线实时成像技术

射线实时成像检测技术(RTR技术)是随着成像物体的变动图像迅速改变的电子学成像方法,它与胶片射线照相检验技术几乎是同时发展起来的。与胶片射线照相技术相比,实时成像技术无须胶片的暗室处理,缩短了曝光时间,增大了图像的动态范围并对图像进行处理,并且在检测的实时性和对曝光时间的宽容性方面具有无比的优越性。RTR技术现已广泛应用于军工、压力容器、汽车等多个行业。

目前应用的射线实时成像检测系统主要有三种:(1)工业射线实时成像检测系统;(2)微焦点射线实时成像检测系统,主要用于电子元器件、生物学样品和小工件的检测;(3)阵列射线实时成像检测系统,主要用于机场、车站的安全检查和海关的物品检验。射线实时成像系统的发展较快,由具有很高分辨力和很大动态范围的基于非晶硅的大面积成像板构成的射线实时成像检测系统和具有高检出灵敏度的扫描X射线源实时成像检测系统正成为新的研究热点^[4]。

对于复合材料检测而言,实时成像检测可应用于产品的在线检测。它可以直接对装配线上的工件进行快速检测,改变工件的遥控装置使检测者可观察工件的细节。实时成像检测的最大优点是检测效率高。

2.3 计算机断层扫描成像技术

计算机断层扫描成像技术(CT技术)是80年代末发展起来的先进的无损检测技术,目前工业CT技术应用广泛。

宇航材料工艺 2004年 第2期

典型的工业CT系统主要部件为源—准直器—探测器系统、数据采集系统、机械扫描系统和计算机系统。其工作过程可简单概括为:首先通过扫描过程,获取被检测物体断层的信息数据,然后用计算机进行图像重建与处理,给出直观、清晰、精确的图像。由于工业CT是在无损状态下得到被检测断层的二维灰度图像,它以图像的灰度来分辨被检断面内部的结构组成、装配情况、材质状况、有无缺陷、缺陷的性质与大小等,只需沿扫描轴线扫得足够多的断层二维图像即可得到被检物的三维图像。它图像清晰,与一般胶片照相技术相比不存在影像重叠与模糊,图像灵敏度比胶片照相技术要高出一个数量级^[5]。此外,由于CT图像是数字式的,较易实现图像的放大、分析、压缩、存储或传输到其它地方供远距离观测。

对于复合材料检测,国内已成功地将工业CT技术应用于C/C复合材料、碳/酚醛复合材料等^[6~8]的检测,解决了一些关键的无损检测技术难题,取得了较好的经济效益和社会效益。随着工业CT应用的普及和技术的进步,在航天产品研制领域的应用必将得到进一步的挖掘:从目前来看,在精密复杂结构件缺陷检测方面的研究工作仍需深入开展,包括进一步扩大检测产品范围,完善检测工艺和制定检测标准;从长远来看,则可包括多余物检查、装配结构分析、故障诊断以及反向设计等。

2.4 康普顿背散射成像技术

康普顿背散射成像(CST)检测技术是在80年代末发展起来的一种射线检测新手段、新技术。它具有以下技术特点:(1)单侧非接触,不受被检测对象几何尺寸的限制。利用CST设备,只需在构件的单侧放置射线源和探测器,即可对构件进行检测,因此可检测透射系统不能检测的大型构件;(2)灵敏度高,尤其是对于低X射线吸收系数材料的检测;(3)快速三维成像,一次扫描可获得深度方向的三维成像数据。由此可见该技术适合于检测铝合金、塑料、复合材料等原子序数较低材料的物体,对低密度材料的检测将获得比透视成像更高的对比度。特别是当被检物为表层形状复杂的工件时比一般的射线照相技术有更好的检测效果,而且此种技术对大型物

体的检测还具有独特的作用。

由于 CST 检测技术能够解决其他无损检测技术手段不能解决的技术难题,因此在国外航空航天领域得到了广泛的研究和应用^[9, 10]。在国内,由于缺少相关的技术设备,此项技术的研究和实际应用尚处于探索性研究阶段^[11, 12]。航天无损检测中心引进德国 Philips 公司的 ComScan 160 II 型 CST 检测系统,针对一些复合材料进行了 CST 检测技术的应用研究^[13]。鉴于 CST 技术的独特性能,可以预见此项技术必将在航天无损检测领域发展成为一个极具开发潜力的检测方法。

3 复合材料射线检测技术的发展趋势

对于复合材料的射线检测技术,主要表现为两大发展方向。

3.1 射线检测方法的完善与检测设备的研制

随着电子技术和计算机技术的迅速发展,数字射线照相技术和计算机模拟与仿真技术正逐渐成为射线无损检测技术研究和应用的热点。特别是非胶片数字射线照相技术,不但可以大大降低检测成本,还可有效地保护环境,已成为公认的发展趋势。计算机模拟与仿真技术在射线检测领域里的突出优点是优化系统设计、选定最佳结构配置、制定检测工艺、进行虚拟检测等,有助于改进工艺、提高效率、大大缩短研发和生产周期。

检测设备的不断更新和完善可以大大提高检测技术。从近些年国内外无损检测技术的发展动态来看,未来的检测设备应具有如下特征:(1)数字技术及自动识别技术;(2)高智能化和图像显示功能;(3)大型化和模块化;(4)自动检测系统的研制。高性能探测器系统及与 CT 有关的技术,如:微焦点 CT、锥束 CT、倾斜入射及非完全扫描重建的 CT 系统等技术更是成为当前研究的热点。

3.2 不同复合材料射线检测方法的制定

国内外关于复合材料无损检测的标准相应较

少。随着新材料和射线检测新方法的不断发展,制定相应的射线检测方法势在必行。射线检测方法及标准的制订,一方面使国内射线检测有法可依,促使无损检测更富科学性和合理性;另一方面可以与国际无损检测的发展更好地接轨。

参考文献

- 1 王耀先. 复合材料结构设计. 北京:化学工业出版社, 2001:1
- 2 复合材料无损检验方法 射线照相. 美国军用标准 MIL—HDBK—733
- 3 纤维增强塑料无损检验方法. 国家军用标准 GB1038
- 4 郑世才. 射线实时成像检验技术. 无损检测, 2000;22(7):328~333
- 5 王仲生. 无损检测诊断现场实用技术. 北京:机械工业出版社, 2002:280
- 6 王俊山,许正辉,黄葛伟等. 用 CT 图像分析 C/C 复合材料的内部缺陷. 宇航材料工艺, 1998;28(6):53~56
- 7 张新春,姜照汉. 工业 CT 在固体火箭发动机质量检测中的应用. 无损检测, 2002;24(2):81,82
- 8 吴东流,郭伟明. 复合材料计算机层析照相检测及应用. 无损检测, 2002;24(4):139~143
- 9 Zhu P, Peix G, Babot D et al. In-line density measurement system using X-ray compton scattering. NDT & E International, 1995;28(1):3~7
- 10 孔凡庚译. 用康扫描(ComScan)系统对低原子序数材料进行康普顿背散射层析 X 射线照相. 无损检测, 1994;16(9):264~268
- 11 郑世才. 康普顿散射成像技术试验. 无损检测, 1995;17(11):301~304
- 12 刘恩承. 康普顿散射层析的一些结果和应用考虑. 无损检测, 1998;20(8):222~224
- 13 杨宝刚,吴东流,任华友. 复合材料康普顿背散射成像检测的初步研究. 见:第十二届全国复合材料学术会议论文集, 2002:790~792

(编辑 任涛)