

碳纤维复合材料气瓶的 X射线实时成像技术

史建军 李得天

(兰州物理研究所真空低温技术与物理国家级重点实验室,兰州 730000)

文 摘 针对某型号卫星用碳纤维复合材料气瓶的结构特点,分析了其常见缺陷及其对复合材料性能的影响,运用射线实时成像技术进行在线动态检测,取得了较好的效果。

关键词 碳纤维,复合材料,X射线实时成像,检测

Real-Time X-Ray Imaging Technology for Carbon Fiber Composite Cylinders

Shi Jianjun Li Detian

(Lanzhou Institute of Physics Low-Temperature Vacuum Technology and State-Level Physics Laboratory, Lanzhou 730000)

Abstracts For a particular model of satellite with carbon fiber composite cylinder structure, common defects and its effect on properties of composite materials were analyzed. Imaging technology for real-time dynamic testing was used and good results are achieved.

Key words Carbon fiber, Composites, X-ray real-time imaging, Detection

1 引言

碳纤维复合材料气瓶与钢质气瓶相比具有质轻、使用时间长、耐腐蚀、安全性好等优点,将它用于航天压力容器,可大大减轻发射质量。因此,近年来国防军工部门已开始试制碳纤维复合材料气瓶^[1],其在线检测已成为航天产品无损检测一个重要课题。X射线实时成像技术能够实时进行在线检测,已广泛应用于工业产品的检测。复合材料的失效行为有自己的独特性,一旦失效,就会迅速扩展,造成灾难性的后果,所以对复合材料中缺陷的早期检测显得尤为重要。本文针对某型号卫星用碳纤维复合材料气瓶的结构特点,运用X射线实时成像技术进行检测,以验证其对装配线上的产品进行在线检测的可行性。

2 碳纤维复合材料气瓶的实时成像检测工艺实验

2.1 常见缺陷分析

2.1.1 缺陷分类

碳纤维复合材料气瓶中的缺陷主要分为两类,一类是气瓶缠绕过程中产生的缺陷,如孔隙、分层、夹杂等;另一类是气瓶在试验中产生的缺陷,如内衬起皱、变形、复合层与内胆之间脱粘等。

2.1.2 缺陷特点及其对性能的影响

大量的检测结果和分析表明,容易产生缺陷的部

位是复合材料内部的物理界面。孔隙对材料的性能会产生有害影响,主要影响材料的层间剪切强度等性能;夹杂的存在会大大降低材料的断裂韧性等;分层主要影响材料的压缩强度和刚度,情况严重时将可能导致材料发生断裂^[2]。

2.2 X射线实时成像检测特点分析

碳纤维复合材料气瓶有其缺陷分布的特殊性,如脱粘、分层、孔隙等缺陷,由于很难布置胶片,无法采用传统的射线照相法进行检测;而对于夹杂、内胆起皱变形等体积型缺陷,则因双壁单影过程中各种影像的层叠,其检测到的缺陷图像是累积效应产生的,也无法通过照相法清晰、准确的检测到。

采用X射线实时成像技术,使射线的透照方向沿垂直于球壁的切线方向,在工件旋转时,可检测到大多数界面缺陷^[3]。可以在任意位置、任意旋转角度下进行产品的实时在线检测,所检测的图像具有较高的清晰度和灵敏度。

2.3 工艺试验

2.3.1 检测设备

X射线实时成像设备由飞利浦MNC65型直流稳压射线机(焦点尺寸为0.4 mm × 0.4 mm)、法国汤姆逊16XZ45STA型150 mm X射线图像增强器和尾部

收稿日期:2009-03-25;修回日期:2009-05-07

作者简介:史建军,1970年出生,工程师,主要从事航天领域压力容器无损检测工作。E-mail: SJJ51010@TOM.COM

http://www.yhclgy.com 宇航材料工艺 2009年 第6期

— 65 —

N205BR10A型高清晰电视摄像机构成,工装和检测软件为国内配套,其中工装和机械系统可进行 x 、 y 、 z 倾斜和管头的升降七个方向的远程控制,并配有两套现场监视装置。

2.3.2 检测对象

选用某型号卫星用碳纤维复合材料气瓶,内衬为 0.8 mm 厚的 TC4 钛合金球体,内衬外壁由碳纤维/环氧树脂复合材料缠绕成型,缠绕层厚度为 15 mm。

2.3.3 检测参数确定

根据 GB 17925—1999《气瓶对接焊缝 X 射线实时成像检测》A3 的要求测得固有不清晰度 $U_s = 277 \text{ mm}^{[4]}$,则理论最佳放大倍数:

$M_0 = 1 + (U_s/d)^{3/2} = 1 + (0.277/0.4)^{3/2} = 1.5$ 式中, U_s 为固有不清晰度, d 为焦点尺寸。

M_0 值受实际焦点尺寸的影响较大,故必须进行工艺交叉试验予以确认,通过试验最后确定的实际最佳放大倍数为 1.8。并由此得到优化透照工艺参数: 焦距 $F = 1000 \text{ mm}$,管电压 $U = 90 \text{ kV}$,管电流 $I = 5 \text{ mA}$,放大倍数 $M = 1.8$ 。

2.3.4 检测

将气瓶垂直放置于自动转台上并予以固定,设定透照参数,使用滤板+光栅进行散射线屏蔽;调整机械系统和射线机位置,使射线的透照方向沿垂直于球壁的切线方向;在控制室通过远程控制转台进行旋转,分别在压力循环试验前后对复合层内部、内衬外壁与复合层结合面进行扫描检测,以检查复合材料是否存在缺陷和损伤,以及压力试验后钛内衬是否起皱变形等。

3 结果及讨论

检测结果见图 1~图 5 所示。

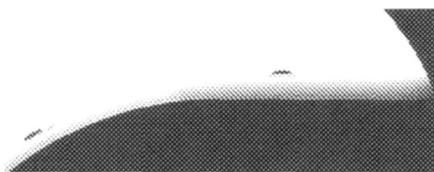


图 1 正常复合层

Fig 1 Normal compound layer

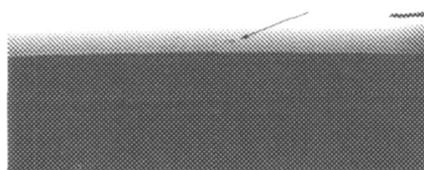


图 2 复合层中的夹杂

Fig 2 Impurities in compound layer

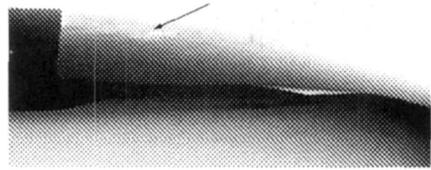


图 3 复合层中的孔隙

Fig 3 Holes in compound layer

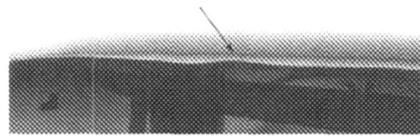


图 4 复合层与内衬外壁间的脱粘

Fig 4 Drops between compound layer and inside lining/outside wall

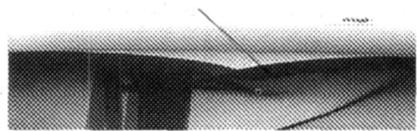


图 5 内衬的折皱变形

Fig 5 Fold deformation of inside lining

从图 1 可以看到内衬与复合层间结合完好,复合层间也未发现缺陷;从图 2~图 5 可以看到夹杂、孔隙、折皱变形、脱粘和划伤等缺陷。图像中复合层边界及与内衬之间的结合面清晰可见。实时成像技术对界面缺陷特有的这种检测效果是传统照相法所无法比的。

4 结论

X 射线实时成像技术已成功应用于我所碳纤维复合材料气瓶的在线检测,实验结果证明,该技术对碳纤维复合材料气瓶中的各种界面缺陷具有较高的灵敏度,检测准确、快捷,检测图像具有较高的清晰度和对比度。

参考文献

- 1 杨志梅. 复合材料及其发展应用综述. 昆钢科技, 2007; (3): 18~20
- 2 王小永, 钱华. 先进复合材料中的主要缺陷于无损检测技术评价. 无损探伤, 2006; (4): 1~6
- 3 倪永红. X 射线实时成像检测技术在航天非金属材料中的应用. 湖北航天科技, 2004; (4): 36~39
- 4 史建军. X 射线实时成像检测技术在钛合金焊缝探伤中的工艺试验研究. 无损检测, 2007; (8): 469~476
- 5 杨宝刚, 金虎等. 复合材料的射线检测技术. 宇航材料工艺, 2004; 34(2): 33~37

(编辑 吴坚)