

碳纤维复合材料 X 射线 数字化实时成像检测技术

Carbon Fiber Composites X-Ray Digitization of Real-Time Imaging Detection Technology

中航工业昌河飞机工业(集团)有限责任公司 胡保花



胡保花

毕业于南昌航空工业学院,现任中航工业昌河飞机工业(集团)有限责任公司无损检测技术员,主要从事 X 射线检测技术工作。

目前,射线检测仍是复合材料无损检测常用的检测方法之一。X 射线实时成像检测技术作为一种新兴的无损检测方法,具有快速、准确、直观、成本低等优点,已进入工业产品无损检测领域。

损检测常用的检测方法之一。X 射线实时成像检测技术作为一种新兴的无损检测方法,具有快速、准确、直观、成本低等优点,已进入工业产品无损检测领域。

X 射线数字化实时成像检测 技术基本原理

X 射线实时成像检测原理^[1]如图 1 所示,可用两个“转换”来概述:

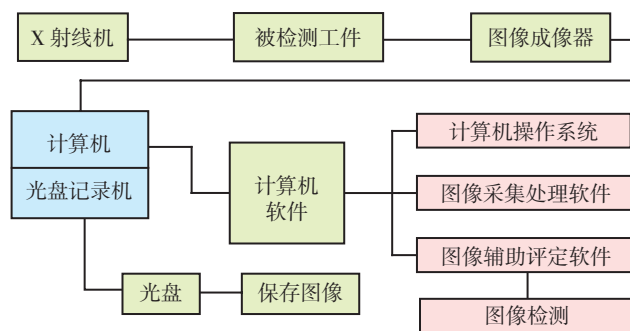


图1 X射线数字化实时成像无损检测原理图

复合材料具有设计性强、重量轻、硬度高、耐腐蚀、抗疲劳性能好、热膨胀系数小等一系列优越性能,广泛应用于航空航天、国防、建筑等领域。但复合材料制件在生产使用过程中可能产生缺陷,引起质量问题,因此对其进行无损检测非常必要。目前射线检测仍是复合材料无

X 射线穿透材料被图像采集器所接收,图像采集器把不可见的 X 射线检测信号转换为光学图像,称为“光电转换”;图像采集器(对于图像不具备数字采集功能的图像增强器而言,用高清晰度电视摄像机摄取光电图像,输入计算机进行 A/D 转换)将采集到的数字信号转换为数字图像,经计算机处理后,还原在显示器屏幕上,可显示出材料内部的缺陷性质、大小、位置等信息。按照有关标准对检测结果进行缺陷等级评定,从而达到无损检测的目的。

测量尺寸的标定与测量

1 测量尺寸的标定

零件某一相关显示的测量尺寸直接反映相关显示的大小。在胶片射线照相技术中,其大小可以利用测量工具直接在底片上测量,读出读数。而在实时成像检测技术中,设备

软件具有测量功能,但是当物体与成像板间有一定距离或者物体与成像板间的距离发生改变时,所测量的相关显示的大小与实际尺寸不相符。因此,需对某一检测高度时的已知尺寸进行标定,利用标定值作为测量依据,对所需测量的区域进行测量。测量的正确度直接影响到所测量相关显示的大小。另外,射线实时成像检验系统中成像板像素尺寸的大小也影响着尺寸的测量。胶片射线照相技术中,胶片感光乳剂层的主要成分卤化银感光物质均匀分布在感光乳剂层中,卤化银颗粒尺寸一般不超过 $1\mu\text{m}$;而成像板射线实时检验系统中,成像板典型的像素尺寸为 $127\mu\text{m}$,也有 $200\mu\text{m}$ 的,不等。而卤化银颗粒尺寸大小与成像板典型的像素尺寸大小都影响着零件图像相关显示可识别的最小细节尺寸。因此,尺寸的标定在实时成像检测技术

中显得非常重要。

考虑标定尺寸时测量的方向性,本文采用一元硬币作为已知尺寸的标定值。经游标卡尺测量,其测量数值为 25mm 。利用设备软件功能对该数值标定后,对硬币透照后所得图像的大小进行测量,其测量值为 25.02mm (见图 2)。由此可见,所标定的测量尺寸可应用于零件相关显示大小的测量。

2 复合材料制件内部相关显示的测量

根据复合材料制件的检测要求,需检测各结构单元间的配合状况。各结构单元间的间距大小直接反映各结构单元间的配合状况,它关系到产品的使用与否,决定了产品的质量。因此,测量各结构单元间的间距非常必要。测量时,选取两结构单元间的小间距进行测量(见图 3)。结果表明,利用所标定的测量尺寸对两

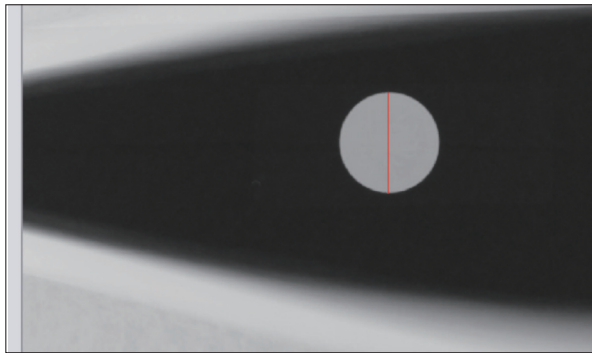


图2 硬币的测量



图3 两结构单元间的配合状况



(a) 薄铝片



(b) 泡沫

图4 人工缺陷图

结构单元间的间距测量,其测量值为0.17mm。可以看出,X射线实时成像检测技术可测量0.2mm的相关显示。

复合材料制件的X射线实时成像检测

1 复合材料人工缺陷的设计

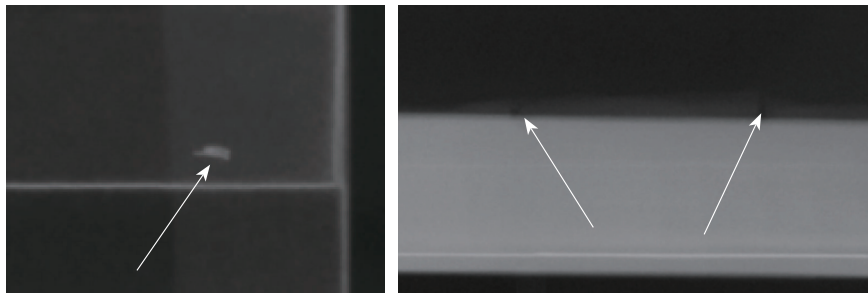
复合材料的特殊制造工艺以及其组分的多样性和各向异性等因素的影响,通常会在制造过程中形成无规律分布的缺陷。这些缺陷严重影响着构件的力学性能和整体完整性。为了模拟复合材料缺陷的性质,在复合材料制造过程中设计了两种人工缺陷:填埋一块薄铝片(约3mm×2mm);割削一定体积的泡沫后再填充等体积的泡沫。

由于复合材料主要由低原子序数物质构成,物质密度小,对射线吸收能力弱,所以进行射线检测时选用软射线,小焦点、合适的焦距、电压等对零件进行透照。零件经X射线实时成像检测后,所得图像如图4所示。根据X射线检测基本原理,当强度均匀的射线束透照射线物体时,如果物体局部区域存在缺陷或结构存在差异,它将改变物体对射线的衰减,使得不同部位透射射线强度不同,这样,采用一定的检测器检测透

射射线强度,就可以判断物体内部的缺陷和物体的分布等。按射线衰减规律推导,可得到以下公式:

$$\frac{\Delta I}{I} = -\frac{(\mu - \mu')\Delta T}{1 + n}, \quad (1)$$

式中, $\Delta I/I$,称为“物体对比度”,它



(a) 夹杂物

(b) 泡沫裂开

图6 零件内部缺陷

构成了射线检测技术需要探测的信号。该式即为射线检测技术的基本原理关系式。由式(1)可以看出,射线对缺陷的检验能力,与缺陷在射线透照方向上尺寸、其线衰减系数与物体的线衰减系数的差别、散射线的控制情况等有关。只要这些方面产生一定的值,则缺陷将产生一定的物体对比度,就可以被射线检测出来。

2 复合材料制件检测的应用实例

结合碳纤维复合制件的成型工艺,碳纤维复合材料制件的射线检测一般采用垂直透照法。由于碳纤维复合材料X射线照相时衬度很高,被检测产品表面的尘埃及涂料、水珠、粉笔标记、透明胶带纸、纸屑和毛刺等多余物均在X射线照相底片上形成影像。这类伪缺陷影响评片^[2]。所以,在射线照相前应仔细清理干净零件表面的多余物。同样,采用X射线实时成像检测技术时也应仔细清理干净零件表面的多余物,以免影响对图像的判断,如图5箭头所示,为零件表面薄膜经射线照射后形成的影像。

复合材料制件在加工过程

中,由于操作人员的疏忽使得零件内部容易产生缺陷。图6为复合材料制件经过X射线检测后得到的内部的缺陷——夹杂物、泡沫的裂开。夹杂物的存在,使得零件在使用过程中局部层与层之间产生分离,导致材料

力学性能下降;而泡沫的裂开,零件在使用过程中有可能导致整块泡沫开口、断裂。这两种缺陷的存在,均可能产生严重的安全隐患。

结束语

由上文可以看出,X射线实时成像检测技术满足复合材料制件的检测要求。但由于复合材料X射线检测图像存在灰度一致性差、对比度低、缺陷边缘模糊等特点,给复合材料内部缺陷的检测与识别带来了一定的困难^[3]。

随着X射线实时成像检测技术的不断发展,X射线实时成像技术作为一种方便快捷的检测手段,将在复合材料的发展中起到更加重要的作用。

参考文献

- [1] 曾祥照. X射线检测数字化实时成像检测技术 [EB/OL]. 2005[2012-08-20]. <http://www.ndtinfo.net/hichina/wenxian/zxz-wenku/zxz-image.htm>.
- [2] 蔡兰,陈桢,王亮. 复合材料的射线检测. 国外建材科技, 2005, 26(2): 17-18, 23.
- [3] 李俊杰. 复合材料X射线实时成像检测技术研究. 太原: 中北大学, 2008.

(责编 亦非)

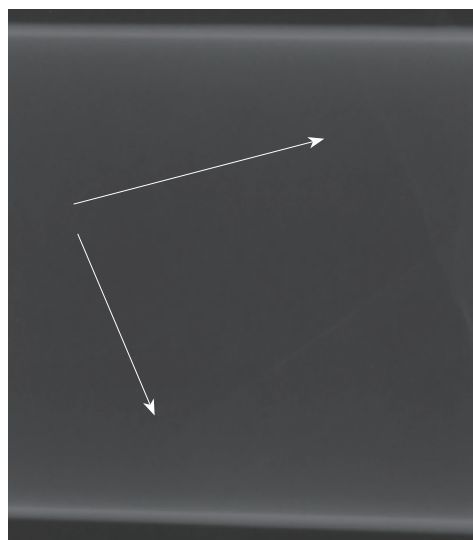


图5 零件表面多余物