

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.11.022

工业 CT 在树脂基复合材料缺陷检测中的应用

赵付宝,王从科,张霞,凡丽梅,李金鹿,郑素萍

(中国兵器工业集团第五三研究所,济南 250031)

摘要:通过对树脂基复合材料制品的内部缺陷 CT 成像特征的分析研究表明,工业 CT 技术能有效地检测出制品内部的夹杂、气孔、分层、裂纹、疏松等缺陷,并且能够精确地测定缺陷的几何尺寸、位置,对提高复合材料制品的质量,改进生产工艺有指导意义。

关键词:工业 CT;无损检测;树脂基复合材料

中图分类号: TG115.28 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)11-0096-03

Application of Industrial Computed Tomography on Testing Defects in Resin Matrix Composites

Zhao Fubao, Wang Congke, Zhang Xia, Fan Limei, Li Jinlu, Zheng Suping

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

Abstract : The computed tomography(CT) imaging characteristics for internal defects of resin matrix composite products were studied and analyzed. The results show that industrial CT(ICT) is able to effectively detect various defects of the composites such as inclusion, hole, delamination, crack, porosity, et al. ICT can accurately determine the geometry size and position of the defects. The application has guidance significance for improving the quality of composite products and production technology.

Keywords : industrial computed tomography; non-destructive testing; resin matrix composite

复合材料是由两种或两种以上不同性质、不同形态的材料通过物理或化学的方法组成的具有新性能的材料。在复合材料制品加工制造过程中由于原材料缺陷、工艺技术及操作等因素的影响会产生各种缺陷,这些缺陷严重影响了复合材料的性能和使用寿命。因此,缺陷的控制技术是目前复合材料成型工艺领域的重要研究内容^[1]。

采用无损检测技术对于控制和改进复合材料制品的质量,保证制品的可靠性及提高生产效率都有关键作用。工业 CT(ICT) 即工业计算机断层成像技术,能够准确地显示被检测物体的内部结构,定量地提供物体内部缺陷的位置及尺寸大小、密度变化、杂质及其分布情况等。将 CT 技术应用于工业无损检测开始于 20 世纪 70 年代,进入 90 年代,随着计算机学科的进步和探测器技术的发展,工业 CT 得到了迅速发展和广泛应用^[2-3]。目前,工业 CT 技术是材料内部微观结构状况的最佳无损检测技术。

工业 CT 图像能够显示出复合材料的组分及密度特性,适合于复合材料制品中多种类型缺陷的检测。准确的缺陷检测,不仅提高了复合材料的使用可靠性,而且为复合材料制品的设计、改进提供了更多选择。将工业 CT 技术和制造工艺相结合,能够

及时发现缺陷,有利于降低生产成本,改进生产工艺。

1 实验部分

1.1 工业 CT 技术

工业 CT 是一种生成被检测物体横截面切片图像的技术,其基本原理是从射线源辐射出来的 X 射线穿过被检测物体的某一截面时,能量被衰减,同时在转台旋转过程中,探测器从不同角度采集关于所扫描物体截面的射线衰减信息,然后将这些信息输入计算机,利用一定的图像重建方法进行重建与处理,从而得到被检测物体截面直观、准确的二维图像。

1.2 仪器设备及试验条件

采用的设备为德国依科视朗国际射线有限公司生产的工业 CT 系统。该系统有两套射线扫描探测器:线阵扫描探测器和面阵扫描探测器,最大输出电压为 450 kV,最大输出电流为 10 mA,射线源焦点尺寸为 2.5 mm×2.5 mm 和 5.5 mm×5.5 mm 两种,密度分辨率可达 0.3%,空间分辨率可达到 4.0 lp/mm,除具有二代和三代扫描模式外,还有大视

野和少量角度扫描模式。试验时采用线阵扫描探测器,三代扫描模式,电压 300 kV,电流 3.0 mA,焦点尺寸为 2.5 mm×2.5 mm,切片厚度 1.0 mm,探测器每圈采样数为 3 600,重建矩阵 1 024×1 024。

1.3 试样

由高硅氧材料和碳纤维材料加工成型的复合材料制品。

2 结果与讨论

2.1 夹杂缺陷的 CT 图像特征

复合材料制品中夹杂缺陷产生的原因主要有原材料纤维、预浸料、树脂或溶剂中自带的杂质;固化过程中模具内的脱落物,工人在操作时不小心带进的杂质等。复合材料的夹杂缺陷的 CT 检测结果如图 1 所示。

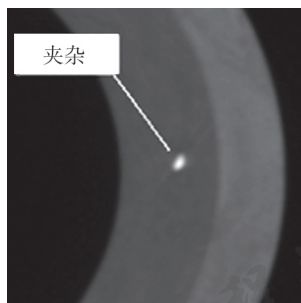


图 1 夹杂缺陷

图 1 中灰度特征发亮的部位即为夹杂缺陷,夹杂的形状多为斑点状、块状或条形,该夹杂密度比复合材料制品自身材料的密度大,但是由于自然界中有很多金属和非金属材料密度非常接近,目前只根据 CT 图像还无法判断出夹杂的属性。

对于夹杂缺陷,利用 CT 图像后处理软件能得到复合材料制品内部夹杂的尺寸、形状、位置等信息,通过处理软件测量出该夹杂的长度约为 2.02 mm,宽度为 1.12 mm,距离复合材料制品内壁 5.68 mm。根据 CT 扫描所确定的夹杂的位置进行解剖,发现该复合材料制品内部的碳层中确实存在一个椭圆形状的金属杂质。

2.2 气孔缺陷的 CT 图像特征

气孔是复合材料的主要缺陷之一,结合复合材料制品的生产工艺,气孔是由原材料没有预热而导致的原材料中水分、挥发物含量大,以及固化过程中夹杂的空气和未排出的挥发组分等原因造成的。复合材料的气孔缺陷的 CT 检测结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,气孔缺陷的影像一般呈孤立的圆形黑点状或椭圆形的黑色区域,它轮廓光滑,整个影像灰度较大,无明显变化,有明显的边界。气孔

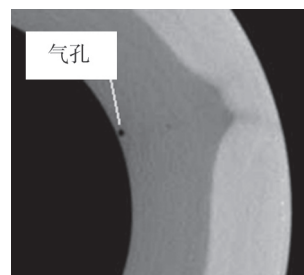


图 2 气孔缺陷

分布情况不一,有单个孤立存在的,也有以密集形态出现的。气孔缺陷处的 CT 密度均匀,与空气的 CT 密度相近。通过处理软件测量出该气孔缺陷距离复合材料制品内壁 0.75 mm,大小为 1.98 mm。

2.3 分层缺陷的 CT 图像特征

分层是指层间的脱粘或开裂,是复合材料结构中的典型缺陷,对于复合材料制品来说,分层意味着严重的损伤。在复合材料制品的缺陷中分层所占比例较高,在复合材料制品中的变厚区域,由于纤维的长短不同,存在纤维不连续的区域从而存在树脂的流动和纤维的滑移,容易引起应力集中,因此,复合材料制品的变厚区域容易产生分层。

对模压成型复合材料制品,加压时压力偏小或者加压时机控制得不准确及预浸料上粘有油污等都可能導致制品产生分层。纤维缠绕成型的复合材料制品,缠绕工艺的不当或者其它原因引起的纤维层间错位可能产生分层。复合材料的分层缺陷的 CT 检测结果如图 3 所示。

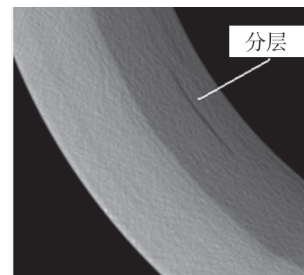


图 3 分层缺陷

从图 3 可看出,在 CT 图中分层缺陷影像一般为黑色的连续或断续不规则线状。利用 CT 图像后处理软件测量出该缺陷距离制品内壁为 6.52 mm,缺陷的最大宽度为 1.18 mm,长度约 12.65 mm。

2.4 裂纹缺陷的 CT 图像特征

结合工艺分析,裂纹主要由复合材料制品内部的应力与外部机械加工应力共同作用产生的,对于模压制品来说,复合材料制品的模具结构或加工成型工艺不合理及脱模方法不正确等也能产生裂纹。复合材料的裂纹缺陷的 CT 检测结果如图 4 所示。

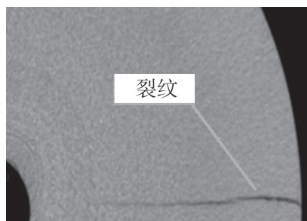


图4 裂纹缺陷

从图4看出,CT图像上出现裂纹区域的灰度比周围区域的灰度大,裂纹缺陷一般呈黑色细条状、线状等,其深度、宽度和长度各不相同。裂纹较轻时仅出现在复合材料制品的表面,严重时裂纹不仅较深、较宽,而且还可能贯穿于整个复合材料制品。裂纹一般有横向裂纹、纵向裂纹、长裂纹、短裂纹等。利用CT图像后处理软件测量出该裂纹缺陷的长度约为47.82 mm,最大宽度为0.96 mm。

试验发现,对于圆柱形、圆筒形的复合材料制品,裂纹多出现在制品的两端附近区域;对于层状模压复合材料制品,裂纹多出现在厚度方向上的中间层间区域。

2.5 疏松缺陷的CT图像特征

对于复合材料的模压制品来说,产生疏松的原因一般是由加料量不足或不均匀以及加压的时机不准确等造成的。复合材料疏松缺陷的CT检测结果如图5所示。

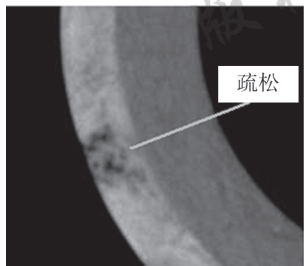


图5 疏松缺陷

从图5可以看出,疏松在CT图像上一般呈现不规则的黑色云雾状斑纹,其深度浓淡不一。常见的疏松形态有一般疏松、层状疏松、分散状疏松。一般疏松呈现的影像通常与复合材料制品的厚度有关,对较薄的截面主要表现为细的网纹影像,对厚的截面则显示为比较模糊的暗斑;层状疏松主要表现为条纹状影像;而分散状疏松则表现为细小长条状的网纹影像。

威格斯推出玻纤增强热塑性材料

威格斯聚合物日前推出一种直接接触食品的新型玻璃纤维增强热塑性材料——VICTREX PEEK 90GL30BLK EU。与金属材料相比,该材料提供了更好的设计灵活性,用它能

2.6 串层缺陷的CT图像特征

对于复合材料的模压制品来说,串层主要是由外层材料模压成型后,内层材料模压时,阳模破坏了固化成型的外层材料并带入内层造成的;若内层材料的强度高于外层材料强度或外层材料没有固化好也可能形成串层。

复合材料的串层缺陷的CT检测结果如图6所示。

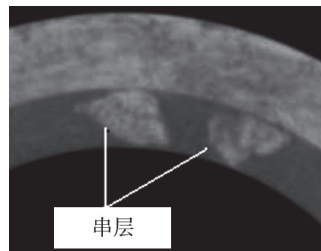


图6 串层缺陷

从图6可以看出,串层的CT图像呈现白色的云雾状,这主要是由于该复合材料制品的外层高硅氧材料串入内层碳纤维材料中,并且外层材料的密度高于内层材料密度。

3 结论

利用工业CT技术对树脂基复合材料制品的内部缺陷进行了检测并对其进行了分析。结果表明,工业CT技术对复合材料制品中的夹杂、疏松、气孔、分层缺陷等有比较高的检测灵敏度,并且能够准确地确定出缺陷的位置及测量出缺陷的几何尺寸。将工业CT技术与复合材料制品的制造工艺相结合,能够及时发现制品中的缺陷,从而对改进复合材料制品的生产工艺,提高制品的产品质量及生产效率均有比较高的实际意义。

参考文献

- [1] 王耀先. 复合材料结构设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
Wang Yaoxian. Structure design of composite[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [2] 吴东流, 郭伟明. 复合材料计算机层析照相检测及应用[J]. 无损检测, 2002, 24(4): 139-153.
Wu Dongliu, Guo Weiming. Computerized tomography for composite materials[J]. NDT, 2002, 24(4): 139-153.
- [3] 先武, 李时光. 工业CT技术[J]. 无损检测, 1996, 18(2): 57.
Xian Wu, Li Shiguang. Industrial computed tomography[J]. NDT, 1996, 18(2): 57.

够设计更复杂的组件。该产品不仅具有优异的耐磨、耐化学药品性、耐水解性能, 还具有良好的抗蠕变性、尺寸稳定性和出色的强度, 可制造用于高压、蒸汽环境下的组件。此外, 还可延长部件的使用寿命, 显著节约成本。(工塑网)