

C/C 复合材料密度的 CT 定量无损检测技术

金 虎 蔡润生

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 讨论了利用水模试样和石墨试样标定 CT 检测过程中影响 CT 值的因素(系统噪声、产品尺寸、检测参数、摆放位置等)对 CT 值的影响,然后利用 C/C 复合材料试样建立 CT 值和材料密度的拟合曲线和拟合公式。结果表明系统噪声、产品尺寸、检测参数、摆放位置等对 CT 值的影响很小,C/C 复合材料织物和复合物 CT 值和材料密度的拟合公式分别为 $P=(T+793)/659$ 和 $P=(T+100)/860$,说明利用 CT 值可以对 C/C 复合材料的密度进行定量定义。

关键词 C/C 复合材料,CT 技术,定量无损检测

Quantified CT Detection Technique on Density of C/C Composite Material

Jin Hu Cai Runsheng

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

Abstract The paper discuss the noise, the product size, the parameter and the positions affects on the CT value and constitutes analog lines and analog expressions of the CT value and density by C/C composite sample. The result indicates the noise, the product size, the parameter and the position have little affect of the CT value. The textile and composite of C/C material analog expression of the CT value and density are $P=(T+793)/659$ and $P=(T+100)/860$, so realize the CT value to quantify the density of C/C composite material.

Key words C/C composite material, CT technique, Quantified nondestructive detection

0 引言

C/C 复合材料由于具有较低的密度、化学惰性、耐烧蚀性好、抗粒子侵蚀、好的耐磨性、尺寸稳定、导电性好、高温时(2 000℃以上)力学性能高及性能可设计等突出特点,越来越受到人们的广泛重视^[1-2]。利用 CT 技术对 C/C 复合材料内部质量进行检测是一种行之有效的手段,它能准确地再现物体内部的三维立体结构和反映物体内部的物理特性,但目前只停留在定性检测阶段,即通过 CT 图像的黑度变化和缺陷形状定性的描述缺陷,如何利用 CT 技术对材料的内部质量包括密度不均进行量化的表征即从无损伤阶段向定量无损检测阶段过渡是目前 CT 技术研究的重点之一。本文主要介绍了如何利用水模试样和石墨试样标定 CT 检测过程中影响 CT 值的各种因素包括系统噪声、产品尺寸、检测参数、摆放位置等对 CT 值的影响程度,然后利用 C/C 复合材料试样建立 CT 值和材料密度的拟合曲线和拟合公式,从而

实现利用 CT 值定量描述 C/C 复合材料的密度。

1 CT 值影响因素研究

CT 检测过程中影响 CT 值的因素很多,包括系统噪声、产品尺寸、检测参数、摆放位置等,需要利用标定试样对以上因素的影响程度进行量化研究。

1.1 CT 值

CT 值定义为: $CT = \frac{\text{物体的密度} - \text{水的密度}}{\text{水的密度}} \times 1000$

在实际检测过程中,CT 值会受到很多因素的影响,因此,即使是同一种物质在不同位置时 CT 值也会存在一定的差异,典型的例子是对同一物质组成的圆柱部件进行检测,同种物质的 CT 值随直径的不同而不同。因此,利用 CT 值定义材料的密度之前必须针对被检材料进行 CT 值的影响因素研究。

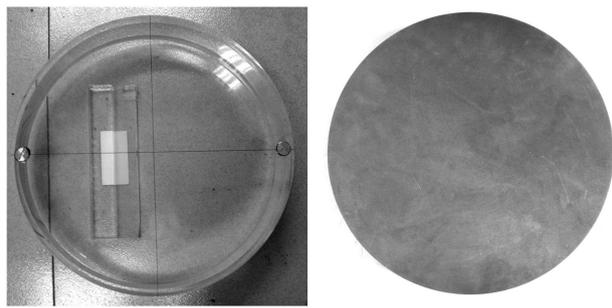
1.2 CT 值标定试样

为了测定各种因素对 CT 值的影响,设计并制作了两个标定试样:水模试样和石墨试样,尺寸为 $\Phi 300$

收稿日期:2011-10-08

作者简介:金虎,1974 年出生,高级工程师,主要从事材料的射线无损检测工作

mm,如图 1 所示。



(a) 水模试样 (b) 石墨试样

图 1 水模试样和石墨试样

Fig. 1 Sample of water and graphite

1.3 系统噪声的测量

对水模试样同一位置在检测条件不变的情况下采集 10 次数据,检测条件:120 kV、220 mA、层厚 10 mm。测量检测系统白噪声的大小约为 4.0%。

1.4 产品尺寸对 CT 值的影响

对水模试样在 120 kV、220 mA、层厚 10 mm 的条件下进行检测,统计检测结果 CT 值随试样直径方向的变化关系,从而测试产品尺寸变化对 CT 值的影响。检测结果如图 2 和图 3 所示。结果表明:相同物质产品尺寸对 CT 值影响很小,直径方向上最大 CT 值与最小 CT 值的差除以最小 CT 值的极差为 4.0%;相同物质的 CT 值在不同测试过程中存在差异主要是由于随机噪声的影响。

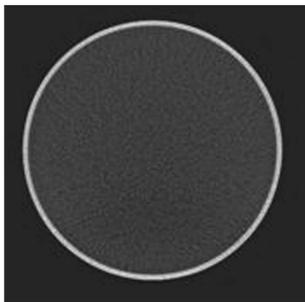


图 2 检测图像

Fig. 2 Image of detection

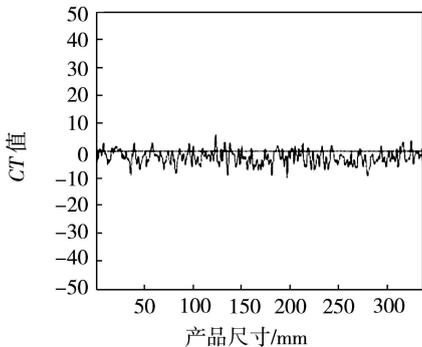


图 3 CT 值与产品尺寸之间的关系

Fig. 3 Relation of CT value and product size

1.5 检测参数对 CT 值的影响

检测参数电压为 80、120、140 kV 分别可以对应

电流 60、80、100、130、150、200、220、250、300 mA。测试的结果见图 4~图 7。

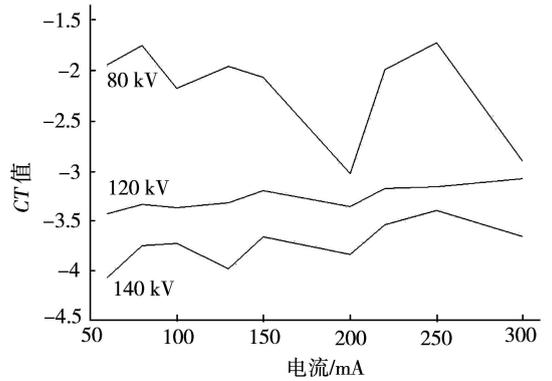


图 4 水模试样平均 CT 值随电流的变化

Fig. 4 Relation of water sample average CT value and current

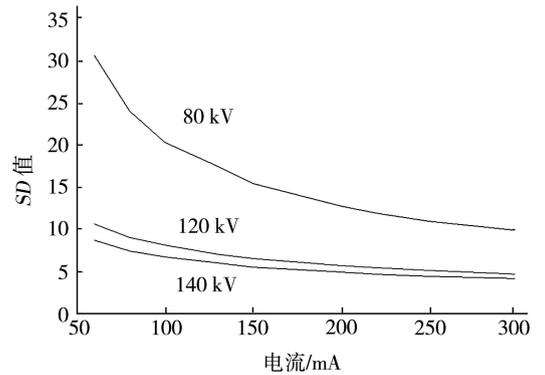


图 5 水模试样 SD 值随电流的变化

Fig. 5 Relation of water sample average SD value and current

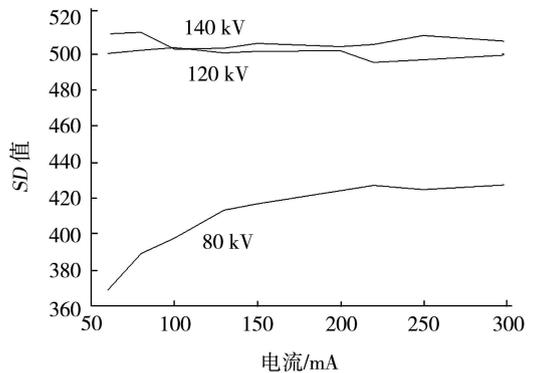


图 6 石墨试样平均 CT 值随电流变化

Fig. 6 Relation of graphite sample average CT value and current

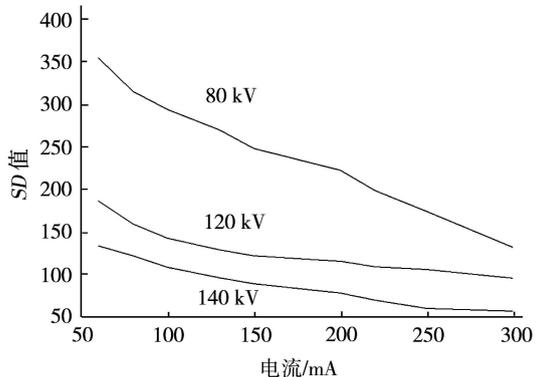


图 7 石墨试样 SD 值随电流变化

Fig. 7 Relation of graphite sample average SD value and current

结果表明:对于密度较高的材料,在电压合适(探

测器可以获得有效的射线信号)的情况下,电压对CT值的大小起决定作用,但电压不足(不能使探测器获得有效的射线信号)的情况下,电流的改变对CT值也有相应的影响。

1.6 摆放位置对CT值的影响

摆放位置对CT值的影响结果见表1。结果表明:每个位置测试试样平均CT值的最大值减去最小值除以最小值的极差为0.16%,证明摆放位置对CT值影响很小。

表1 检测结果

Tab.1 Results of detection

距中心/mm	CT值	距中心/mm	CT值
20	-2.13	100	-3.54
40	-3.12	120	-1.99
60	-3.31	140	-2.02
80	-2.14	160	-3.17

2 C/C复合材料密度的CT值定量研究

C/C复合材料包括织物和复合物两个阶段,分别制备了不同密度的试样,共14块,试样的密度见表2和表3。

表2 复合物试样的密度

Tab.2 Density of composite sample

试件	密度/g·cm ⁻³	编号	密度/g·cm ⁻³
1#	1.94	3#	1.96
2#	1.95	4#	1.97

表3 织物试样的密度

Tab.3 Density of textile sample

试件	密度/g·cm ⁻³	编号	密度/g·cm ⁻³
1#	0.80	6#	0.89
2#	0.84	7#	0.91
3#	0.85	8#	0.93
4#	0.86	9#	0.95
5#	0.87	10#	0.97

对以上试样按照研究好的检测条件进行检测,测量CT值与密度的关系得到的结果见图8和图9,拟合曲线采用多项式拟合、误差通过非线性最小二乘法计算获得。

拟合公式: $P=(T+793)/659$,误差0.4%。

式中, P 表示材料密度、 T 表示CT值。

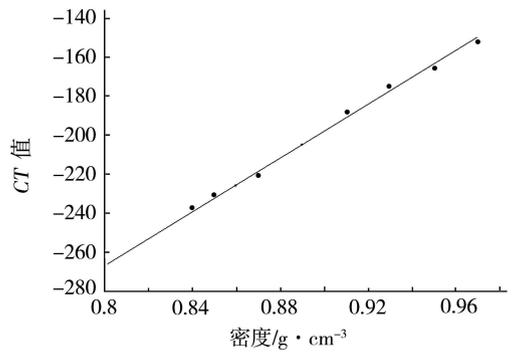


图8 织物密度与CT值的拟合曲线

Fig.8 Analog line and expression of textile density and CT value

拟合公式: $P=(T+100)/860$,误差0.02%。

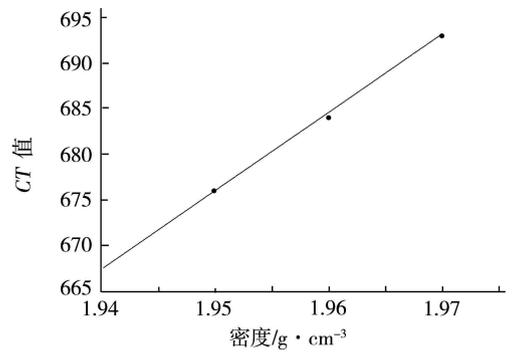


图9 复合物密度与CT值的关系拟合曲线

Fig.9 Analog line and expression of composite density and CT value

3 结论

利用水模试样和石墨试样确定了CT检测过程中系统噪声、产品尺寸、检测参数、摆放位置等因素对CT值的影响很小,在系统的噪声范围内。C/C复合材料的织物试样和复合物CT值和材料密度的拟合公式分别为 $P=(T+793)/659$ 和 $P=(T+100)/860$;误差分别为0.4%和0.02%,说明了利用CT值可以对C/C复合材料的密度进行定量定义。

参考文献

- [1] 王俊山,许正辉,黄葛伟等. 用CT图象分析C/C复合材料的内部缺陷[J]. 宇航材料工艺,1998,28(6):53-56
- [2] 郭志平,董宇峰. 工业CT技术发展概况[J]. 无损检测,1996,18(1):27-30

(编辑 李洪泉)

欢迎订阅2012年《中国粉体工业》杂志

《中国粉体工业》于2004年8月在北京创刊,是国内粉体工业领域首份专业信息类刊物。本刊为全国性粉体行业期刊、中国学术期刊(光盘版)收录期刊、中国期刊全文数据库全文收录期刊、维普数据库全文收录期刊、中国期刊网收录期刊。一刊在手,尽知天下粉体事。本刊为国际标准大16K,双月刊,每逢双月25日出版发行,年发行近5万余册,全年6期,订费120元(含邮费)。本刊面向全国,自办发行,为读者随时办理订阅手续。需订阅者可与编辑部联系或直接由邮局或银行汇款至北京海淀区上地信息路15号金融科贸大厦708室 邮编:100085;收款人:北京中粉网信息技术咨询有限公司

开户行:中国农业银行北京市海淀区支行成府路分理处;帐号:11051701040001852;户名:北京中粉网信息技术咨询有限公司
电话:010-82930764(0964) 传真:010-82931044-17