

碳/环氧复合材料管形件超声底板反射检测法

张颖¹ 何双起²

(1 南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室,南昌 330063)

(2 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 新型运载火箭的推力支架使用碳/环氧复合材料管形件组装而成。针对该类管形件的成型工艺及特征,文章在对比了多种常用的超声检测方法的基础上,提出了复合材料管形件内部质量的底板反射检测方法。文中运用了超声 C 扫描系统,采用底板反射法对设计的人工缺陷及实际产品进行检测。结果表明,所采用的检测方法能够准确地检测出人工缺陷,并且可以有效地实现产品内部缺陷的检测。

关键词 复合材料,管形件,底板反射法,超声检测

Bottom Reflection Method for Carbon Epoxy Composite Pipe

Zhang Ying¹ He Shuangqi²

(Key Lab. of Nondestructive Testing, Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063)

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

Abstract Carbon epoxy composite bars were used to the thrust stents of the new launch vehicle. According to the filament winding process and characteristics of the tubular parts, this paper presents the method of bottom reflection to detect composite tubular based on the comparison of the conventional ultrasonic testing method. Using ultrasound C scanning system, this paper adopts the method to artificial defects and the actual products detection. The results show that the detection method can detect the artificial defects accurately, and achieve the product internal defect detection effectively.

Key words Composite, Pipe, Bottom reflection method, Ultrasonic testing

0 引言

新型运载火箭上的箱间段、级间段以及发动机与飞行器燃料储箱之间的推力支架,均使用碳/环氧复合材料管形件组装制造而成^[1-2],在使用过程中承受大载荷的压缩、拉伸力作用,是运载火箭上的关键部件。碳/环氧复合材料管形件的长度长、管径小(外径 40 mm,壁厚 6 mm,长度 5 m),其制备方法是湿法缠绕,通过在金属芯模上缠绕浸过树脂的高强碳纤维制造而成。为保证树脂含量的均匀稳定,在固化时采用低速旋转固化,气泡只能自己缓慢排出。这种成型工艺决定了复合材料管形件具有孔隙率高、声衰减大的特点,产品内部易存在影响其使用性能的分层、疏松和夹杂等缺陷。

由于复合材料的生产工艺过程复杂、工艺技术状态难以准确控制,避免使用带有危险缺陷的复合材料管形件是保证运载火箭技术稳定性的先决条件。复

合材料管形件为单件生产方式,生产后直接成型,后加工量少,生产工艺控制、破坏性抽检等常用的产品质量方法无法应用,建立碳/环氧复合材料管形件无损检测方法,对于保证运载火箭箱间段、级间段和推力支架的质量可靠性具有十分重要的作用。

1 检测方法研究

复合材料常用的超声检测方法有:脉冲反射法和穿透法。由于复合材料管形件的孔隙率高,超声波传播衰减大;表面曲率半径小,超声波入射到制品后的声束扩散严重;制品表面不平整,材料表面反射波列较宽等因素影响了超声脉冲反射法的使用。使用不同频率、不同晶片直径、不同焦距长度的探头对复合材料管形件进行适用性研究,图 1 为使用 1 MHz 平探头对复合材料管形件进行接触反射法检测的波形图。

收稿日期:2011-11-24

基金项目:江西省研究生教育创新基地资助

作者简介:张颖,1988 年出生,硕士研究生,主要从事超声检测及研究工作。E-mail: zhangying_tt@126.com

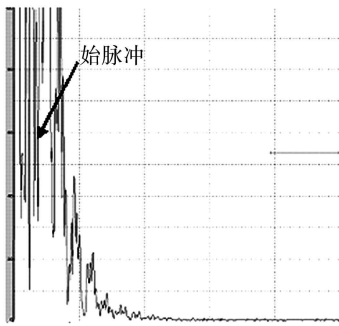


图1 管形件检测波形图

Fig. 1 Pipe detection waveform

实验研究表明,无论是使用接触式超声脉冲反射法还是水浸式超声脉冲反射法,由于材料对声波的衰减严重,始波(或界面波)波列较宽,影响内壁底波的识别。因而,超声脉冲反射法不适用于该类复合材料管形件内部缺陷的检测。

超声穿透法虽然对复合材料管形件材料具有很好的检测效果,但由于复合材料管形件的长度尺寸大、管径小,在实际检测时,如采用管形件立式状态检测方案,检测系统的研制难度大、检测操作困难,如采用卧式状态检测方案,细长的探头机械臂受挠度因素的影响,在检测时内部探头磕碰内壁,使位于复合材料管形件外部超声探头与内部超声探头的对准状态不稳定。因此,超声穿透法也不适用于复合材料管形件内部缺陷的检测。

综上所述,常用的超声脉冲反射法和穿透法,都不是复合材料管形件最佳的超声检测方法。根据管形件自身形状尺寸,拟采用两种检测方法:整体穿透

法、底板反射法。

整体穿透法检测是指在液浸的条件下将探头放在管形件外壁两侧,探头实行一发一收模式。当管形件内部存在分层、疏松或夹杂等缺陷时,穿透波的幅度均有不同程度的降低,可据此判定缺陷的有无(图2)。整体穿透法的优点是:工程上容易实现,检测效率高,穿透波变化直观。其不足是:当缺陷出现时,无法判定缺陷所在位置,对缺陷的定量、定性不准确,会造成缺陷漏检和误判。

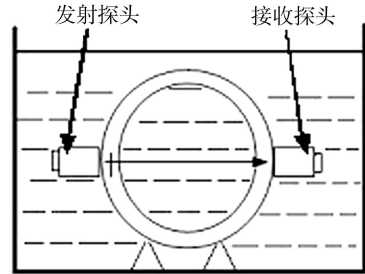


图2 整体穿透法示意图

Fig. 2 Schematic diagram of transmission technique

依据复合材料管形件的制造工艺,复合材料管形件脱模后内壁光滑,为底板反射法检测提供了有利条件。底板反射法^[3]对复合材管形件检测,是在液浸的条件下使超声束沿管形件中心垂直穿透管形件上部并从光滑平整的内表面反射,测量反射波穿透管形件上部时为探头接收的回波高度,以判断有无缺陷。可根据回波幅度的高低判定缺陷的类型,如图3所示为底板反射法示意图。

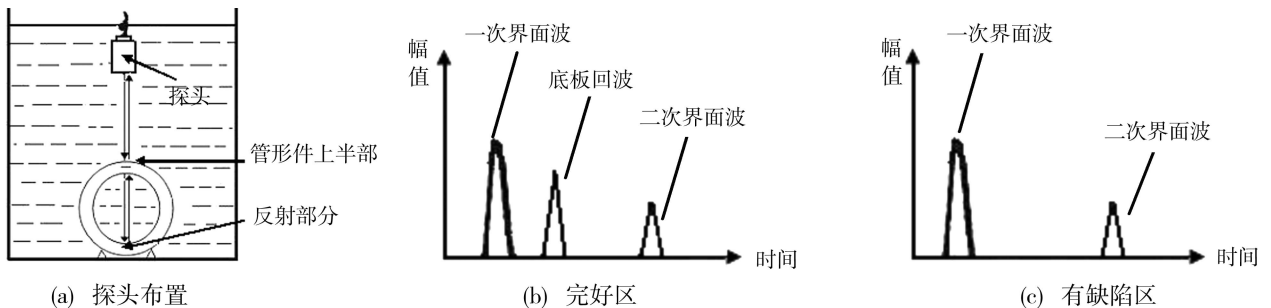


图3 底板反射法示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the bottom reflection method

使用底板反射法检测弥补了整体穿透法检测时缺陷难以定位定量的不足,而且超声波在待检部位进行二次穿透,缺陷处回波变化非常明显,具有较高的灵敏度,是针对该类工件最佳的检测手段。

2 检测实验及结果

2.1 试样设计

按照超声波传播过程中遇到空气介质时会产生衰减,也可以达到模拟缺陷的目的。实验采用在制品

样件表面粘贴纸片模拟人工分层缺陷,以及在实际产品成型过程中预埋聚四氟乙烯薄片两种模拟方法。其中,黏贴纸片缺陷尺寸有 10 mm×10 mm、10 mm×20 mm、20 mm×20 mm、10 mm×30 mm、10 mm×40 mm,如图4所示。预埋聚四氟乙烯薄片尺寸为 45 mm×45 mm、40 mm×40 mm(2块)、35 mm×35 mm、30 mm×30 mm、25 mm×25 mm(3块)、20 mm×20 mm、15 mm×15 mm(2块)、10 mm×10 mm(3块)、7 mm×7

mm(2块);预埋数字分层的宽度在10 mm左右,数字分层与方形分层缺陷预埋的深度不同,其示意图如图5所示。

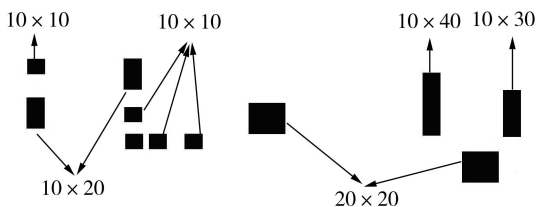


图4 人工粘贴缺陷示意图

Fig.4 Sample of paste defects

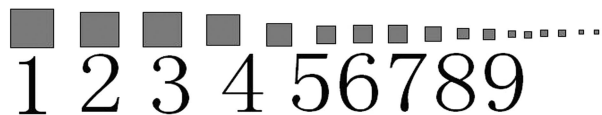


图5 人工预埋缺陷管形件示意图

Fig.5 Sample of pipe embedded defects simulating layering

2.2 检测结果

使用1 MHz平探头检测模拟缺陷试样,检测结果如图6所示。图6中所有粘贴的模拟缺陷均清晰可见。从图7可以看出由于缠绕过程中的某些因素导致模拟分层之间产生了缺陷,所有模拟分层全部连在一起难以分辨,但是预埋的数字分层非常清楚。不仅如此,预埋件缠绕方向上的气孔含较高,某些部位存在异常。



图6 人工粘贴缺陷C扫描超声检测图像

Fig.6 C-scan image of paste defects in sample

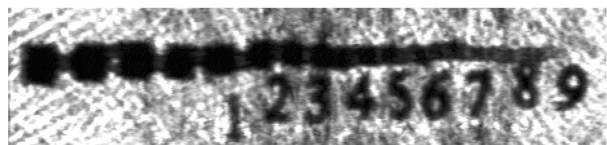


图7 人工预埋缺陷C扫描超声检测图像

Fig.7 C-scan image of embedded defects in sample

对实际产品的检测结果如图8所示。

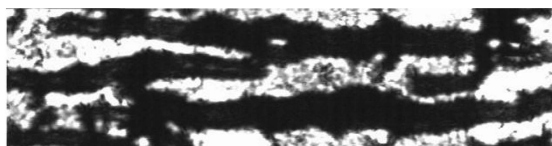


图8 实际产品C扫描超声检测图像

Fig.8 C-scan image of product

对所发现的分层性缺陷部位解剖后进行了金相检验,金相照片如图9所示。从金相照片可以看出该系统能有效检测出分层性缺陷。

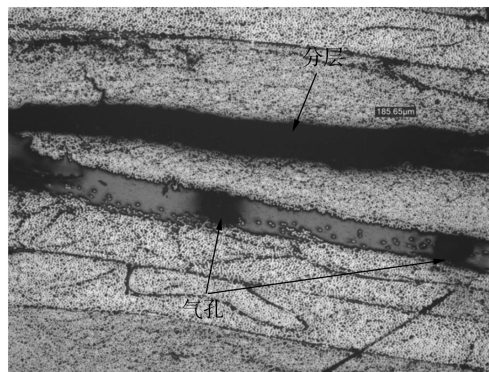


图9 金相解剖图

Fig.9 Figure of metallographic anatomy

3 结论

针对缠绕成型复合材料管形件进行了超声检测实验研究,在现有的检测条件下提出了复合材料管形件内部质量检测的超声底板反射法。对于孔隙率高、管径小且长度尺寸大的管形件,底板反射法是一种可靠性高的超声检测方法。但由于探头与管形件中心之间的偏心距对底板回波声压有较大影响,检测时必须使用自动扫查系统控制探头的偏心距,以避免缺陷的误检。实验结果表明,所设计的人工缺陷能够全部检出,对实际产品内部缺陷的检测效果较好。

参考文献

- [1] 赵稼祥. 先进复合材料的发展与展望[J]. 材料工程, 2002(10):40-43
- [2] 江辉. 国外航天结构新材料发展简述[J]. 宇航材料工艺, 1998, 28(4):1-8
- [3] 中国机械工程学会无损检测分会编. 无损检测Ⅱ级培训教材·超声波检测[M]. 北京:机械工业出版社, 2000

(编辑 李洪泉)