

基于波速分析的激光超声检测技术

曾 伟¹, 王海涛¹, 田贵云^{1,2}, 胡国星¹, 杨先明³, 万 敏¹

(1. 南京航空航天大学 自动化学院, 南京 210016;

2. 纽卡斯尔大学 电子与计算机工程学院, 纽卡斯尔 EU1 7RU;

3. 烟台富润实业有限公司, 烟台 264670)

摘 要:介绍了一种基于波速分析的激光超声波成像技术,在铝材料表面进行二维扫描,同时在扫描区域一侧采取超声波传感器接收信号,详细分析了超声波在有缺陷和无缺陷的不同位置传播的波速图像。试验结果表明:超声波波速图像技术能有效地检测出被检测材料表面缺陷的位置,这为缺陷的定量检测提供了基础。

关键词:波速;超声波成像;传感器;表面缺陷

中图分类号:TN247; TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2014)12-0038-04

Laser Ultrasound Detection Technology Based on Velocity Analysis

ZENG Wei¹, WANG Hai-tao¹, TIAN Gui-yun^{1,2}, HU Guo-xing¹, YANG Xian-ming³, WAN Min¹

(1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. School of Electrical Electronic and Computer Engineering, Newcastle University, Newcastle NE1 7RU, UK;

3. Yantai Furun Industrial Company with Limited Liability, Yantai 264670, China)

Abstract: This paper describes a laser ultrasound imaging technology based on velocity analysis. Scanning the Al surface in two dimensions, simultaneously the ultrasonic wave was simultaneously received by the transducer on the other side of the scanning area, and detailed analysis of the ultrasonic propagation velocity image at the different positions within defect and no-defect was carried out. The experimental results show that the laser ultrasound imaging technology based on velocity analysis can effectively detect the position of the defect, which provides the basis for the quantitative defect detection.

Keywords: Velocity; Ultrasound imaging; Transducer; Defects

随着现代无损检测技术的发展,常见的无损检测方法如电磁检测^[1]、射线检测、超声检测^[2]、涡流检测等,在材料检测中得到广泛应用。激光超声检测技术^[3]作为一种将超声技术与光学技术相互结合的检测方法,不仅结合了超声技术的特点,而且能实现非接触检测,大面积快速成像,产生具有较高分辨率的信号。在铁路、特种设备、航空航天等领

域具有极高的应用价值。

激光超声检测技术的主要激发机制包括热弹机制或烧蚀机制,并同时在金属、绝缘体、陶瓷、有机材料等各种材料中激发出纵波、横波和表面波等波形。然而超声波的接收主要分为接触式和非接触,接触式主要采用传统压电换能器,在接收时需耦合剂。非接触式主要利用光学方法,其主要有刀刃法和干涉法。笔者主要采用超声波传感器对激光产生的超声波信号进行接收。

激光超声波成像技术,作为一种新型的超声波检测技术,得到了研究人员的广泛关注。激光超声波成像技术主要利用超声波互易性原理,还原激光产生的超声波传播图像,从而对被测材料中的损伤进行可视化检测。根据超声波传播的这一原理,文

收稿日期:2014-06-25

基金项目:江苏省研究生培养创新工程 KYLX_0252 中央高校基本科研业务费专项资金资助、国家科技部国际合作资助项目(2011DER71080);欧盟 FP7 资助项目“Health monitoring of offshore wind farms”(FP7-PEOPLE-2010-IRSES 269202)

作者简介:曾 伟(1984—),男,博士生,主要从事激光超声波无损检测技术工作。

献[4]提出了基于能量分析的方法,对材料中的损伤进行检测,取得了较好的检测效果。HALL J S, MICHAELS J E^[5-6]等人提出采取阵列传感器对缺陷产生的散射波进行成像。HIROSHI TSUDA^[7]等人提出一种光栅超声波检测方法,对不锈钢中的裂纹进行成像检测。文献^[8-9]提出将 HIBERT^[10]技术应用到超声波成像技术中,对材料中的损伤进行可视化检测。基于以上分析,激光超声波成像技术作为一种新的无损检测技术,在材料评估、缺陷检测和在线检测领域具有广阔的应用前景。

试验选取铝合金材料,采用调 Q Nd:YAG 激光器在材料表面激发超声信号,采取波速分析的成像技术对材料中的损伤进行图像化检测,通过分析手段,可以有效地对材料中的缺陷进行定位,为工程中的缺陷检测提供了基础。

1 激光超声波试验检测系统

检测装置如图 1 所示,该检测系统主要包括:产生超声波信号的脉冲激光器;控制器装置;用于改变激光器位置的扫描动镜及用于接收信号的斜角为 90° 的传感器,该传感器的中心频率为 2 MHz;以及放大器和采样信号的 A/D 采集卡。试验过程中,被测材料为铝合金,厚度为 12 mm,在其表面有一直径为 2 mm,深为 1 mm 的损伤。检测系统主要工作原理为脉冲激光器(波长为 1 064 nm)入射到扫描系统,将产生的激光束作用到被测材料表面,在热弹机制的作用下,在材料中产生超声波信号,在一侧的传感器接收产生的超声波信号,最后传输到 PC 机中,利用超声波互易性原理还原超声波波速图像,从而完成对材料中的损伤成像检测。其中,激光束光斑直径小于 0.2 mm,激光功率密度约为 2.5 MW/cm^2 ,将激光器的功率密度控制在热弹机制下。

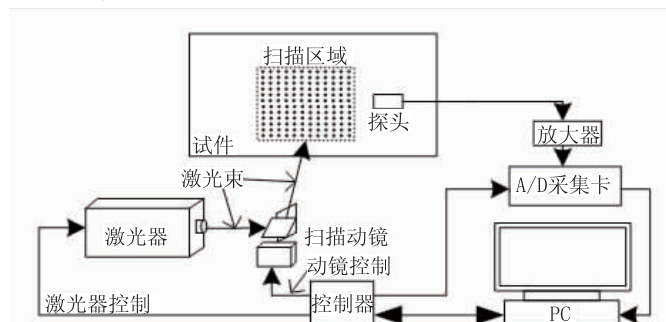


图 1 激光超声波试验检测装置

2 激光超声波检测方法

激光超声波检测过程中扫描点的间距为 0.2 mm,

扫描面积为 $10 \times 20 \text{ mm}^2$,总的扫描点为 5151 个,PC 机接收到 5151 个波形信号。根据超声波传播的互易性原理,当超声波激励端与超声波接收位置固定时,互换接收端与激励端两者的位置,接收端所接收到的超声波信号不变。因此,根据这一原理,将激光器在扫描区域内各点所得到的 5151 个波形信号采取软件编程存储于 (X, Y, t) 中,如图 2 所示,得到 X 轴或 Y 轴任意位置处的波速传播图像。

试验过程中,选取 LDI 400 双通道高速数字存储示波卡对超声信号进行实时采集,采集卡最高频率为 100 MHz,采样频率选取 25 MHz,采样点为 500,每个超声波信号的总采样时间为 20 s,为减少试验过程中随机噪声信号产生的干扰,对采集的超声波信号实现 1M—3M 带通软件滤波。

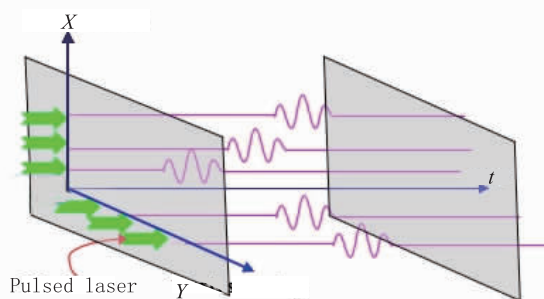
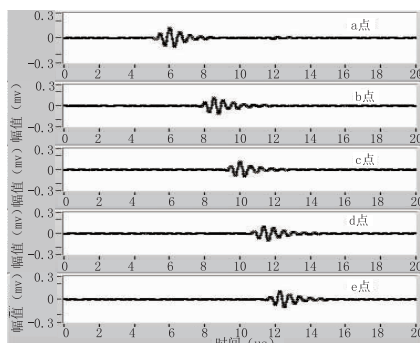


图 2 激光超声波波速成像方法

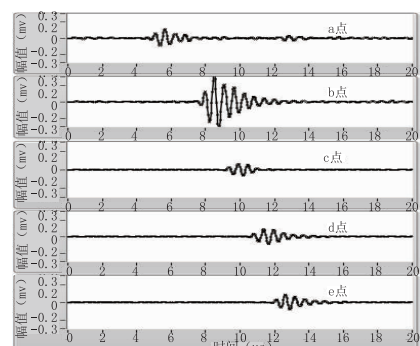
3 试验结果与分析

图 3(a)为激光器在无缺陷的铝合金材料表面 a、b、c、d、e 各点接收的超声波信号时域波形图,从图中可以看出,随着激发点探测点距离增加,超声波变化不大。但是,激光束在有损伤的铝合金材料表面 a、b、c、d、e 各点激发的超声波信号时域图,如图 3(b)所示,当激发点在 a 点时,可以接收到超声波信号,在 12 s 处检测到损伤回波信号,幅值较小。当激发点在 b 点时,由于激发点离缺陷很近,从图中可以看出,检测出来的超声波信号幅值较大。当激发点在 c、d、e 点时,超声波幅值下降。同样,激发点处的超声波信号受缺陷影响,部分信号绕过缺陷传播。

图 4(a)为激发点在不同位置得到的超声波波速图像,从图中可以看出,当探测点与激发点距离较近时,其超声波信号波速图像出现的时间较早,而随着探测点与激发点距离增加,超声波出现的时间也相应增加,从而可以相应计算超声波信号在被



(a) 无损伤



(b) 有损伤

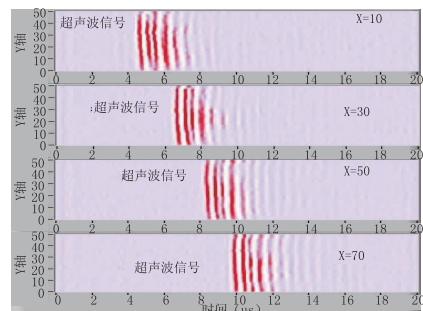
图3 超声波信号时域图

测材料中的传播速度。超声波信号在无缺陷的铝材料表面传播时信号平稳。

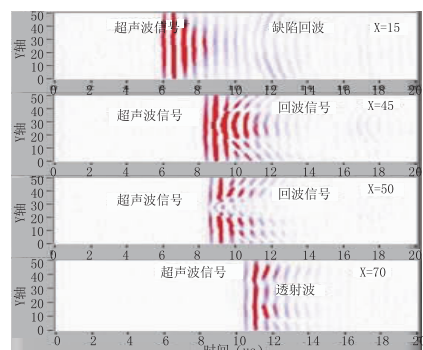
图4(b)为激发点距离圆孔缺陷不同位置得到的超声波波速图像,当探测点与激发点在圆孔缺陷的同一侧时($X=15$),其超声波信号波速图像中不仅存在超声波信号,而且存在缺陷回波信号,随着激发点离圆孔缺陷越来越近($X=45$),缺陷回波信号与超声信号叠加在一起,但是其缺陷回波信号的传播方向在图中能直观地检测出。当激发点在圆孔缺陷位置时($X=50$),从其图像中可以发现,在($Y=20\sim30$)处,接收到的超声波较小,这是由于超声波信号在传播过程中,被缺陷阻挡,而无法传播。而($Y=20\sim30$)区域2 mm的宽度与圆孔缺陷的直径2 mm相吻合。

图5(a)为激发点在不同位置得到的超声波波速图像,从图中可以看出,改变 Y 值,其超声波波速图像几乎没有什么变化,这是由于超声波沿着 X 轴正向传播。超声波信号在无缺陷的铝材料表面传播,没有发现任何回波信号。

图5(b)为激发点距离圆孔缺陷不同位置得到的超声波波速图像,其超声波信号波速图像中不仅有超声波信号,而且有缺陷产生的回波信号,当($Y=15$)时,回波信号与超声波信号的交点在($X=$



(a) 无损伤



(b) 有损伤

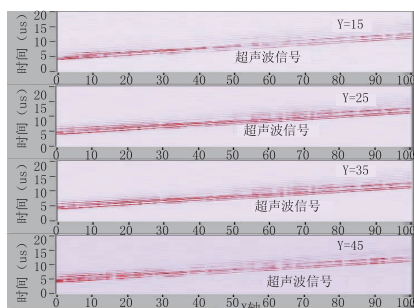
图4 超声波波速图像

40~50)处,该位置位于圆孔缺陷的一侧,当($Y=25$)时,可以看到在($X=50$)的位置,超声波信号被截断,该位置位于圆孔缺陷中心,圆孔缺陷将超声波信号阻挡,而其缺陷回波信号在($X=30\sim50$)才被发现。这是由于超声波信号沿着 X 轴正向传播,激发点在探测点与缺陷之间激发的回波信号能接收到,而激发点在缺陷与探测点的异侧,其产生的回波信号,超声波传感器无法接收。

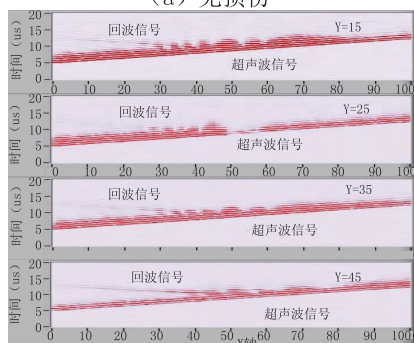
4 结语

提出了一种激光超声波波速图像的激光超声波检测技术,对距离缺陷不同位置的超声波速度图像进行分析,根据 X 与 Y 轴两个方向变化的超声波波速图像,对缺陷在 X 与 Y 轴两个方向的缺陷宽度进行估算。从试验结果看,这种方法在 X 与 Y 轴两个方向所估算缺陷宽度与实际缺陷的宽度大致相同。

采用这种超声波波速图像技术可以准确地对试件中的表面缺陷进行检测,可以估算缺陷在 X 与 Y 轴两个方向的宽度,其图像大小与实际缺陷大小相一致,这为表面缺陷的定量检测提供了基础,而且采用波速图像不需要参考信号,就可以从具有表面缺陷的材料中提取出缺陷信息,为实现表面缺陷的图像化检测提供了技术基础。



(a) 无损伤



(b) 有损伤

图5 改变y值后超声波波速图像

参考文献:

- [1] 周德强,张斌强,田贵云,等. 脉冲涡流检测中裂纹的深度定量及分类识别[J]. 仪器仪表学报,2009,30(6): 1190-1194.
- [2] 赵慎,杨俊,乔纯捷,等. 超声信号拉盖尔模型及在渡越时间测量中的应用[J]. 仪器仪表学报,2013,34(3): 797-802.
- [3] 曾伟,杨先明,王海涛,等. 激光超声技术及其应用[J]. 无损检测,2013,35(12):49-52.
- [4] 曾伟,王海涛,田贵云,等. 激光超声波成像技术在奥氏体不锈钢焊缝检测中的研究[J]. 中国激光 2014, 41(7):0703004 1-5.
- [5] 曾伟,王海涛,田贵云,等. 基于能量分析的激光超声波缺陷检测研究[J]. 仪器仪表学报 2014, 35(3): 14-19.
- [6] HALL J S, MICHAELS J E. Minimum variance ultrasonic imaging applied to an in situ sparse guided wave array[J]. IEEE Trans. Ultrasonis. Ferroelectr. Freq. Control. 2010,57(10): 2311 - 2323.
- [7] HALL J S, MCKEON P, SATYANARAYAN L, et al. Minimum variance guided wave imaging in a quasi-isotropic composite plate[J]. Smart Materials and Structures. 2011,1(14): 025-013.
- [8] HIROSHI TSUDA, JUNG-RYUL LEE, YISHENG GUAN. Investigation of fatigue crack in stainless steel using a mobile fiber bragg grating ultrasonic sensor[J]. Optical Fiber Technology ,2007, 13(3) :209-214.
- [9] Wei ZENG, Haitao WANG, Guiyun TIAN, et al. Application of a non-contact laser ultrasonic Imaging technique in surface defect detection[J]. Proceedings of 2014 IEEE Far East Forum on Nondestructive Evaluation/testing: New Technology & Application,2014,23(1):30-33.
- [10] 曾伟,王海涛,田贵云,等. 基于 Hilbert 变换的激光超声波成像技术在缺陷检测中的应用[J]中国激光, 2014,41(5):1-7.

专题(GB/T 11345—2013 系列标准评析)征稿启事

2013年9月18日正式发布的钢焊缝超声检测国家标准 GB/T 11345—2013《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》、GB/T 29711—2013《焊缝无损检测 超声检测 焊缝中的显示特征》和 GB/T 29712—2013《焊缝无损检测 超声检测 验收等级》于2014年6月1日起实施。而旧版本标准 GB/T 11345—1989《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》是1989年5月8日发布,1990年1月1日起实施的,新老标准交替的周期为24年。新标准发布与实施以来,引起了业界,尤其是从事焊缝超声检测相关工作人员的广泛关注。为了帮助同行更好地理解 and 执行 GB/T 11345—2013 系列标准,本刊拟于近期推出“GB/T 11345—2013 系列标准评析”专题,特向行业内相关专家、学者及工程检测人员征稿。

征稿内容:

- (1)新标准的主要内容及与旧版本的比较;
- (2)对新标准中变化内容的理解;

(3)为适应新标准的变化,实际检测工作中做了哪些工作,还存在哪些疑问或困难;

(4)对正确执行或实施标准的建议。

(征稿不只局限于上述内容,欢迎行业内专家学者们多多赐稿)

征稿要求:

(1)文章请按照本刊已发表论文的格式撰写,长短不限,能够表述清楚即可;

(2)请在2015年2月28日前将稿件发送至编辑部邮箱,并注明“GB/T 11345 系列标准征稿”字样;

(3)对参与讨论的文章,经审核后择优发表。

期待您的来稿! 编辑部联系人:朱绍华;电话:021-65559079;Email:ndt@mat-test.com。

《无损检测》编辑部