

铝合金蜂窝板钎焊接头的超声波C扫描检测

程志义¹ 林雨廷¹ 周广浩¹ 程炜晴²

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司质量保证部, 130062, 长春;

2. 电子科技大学格拉斯哥学院, 611731, 成都//第一作者, 教授级高级工程师)

摘要 分析了铝合金蜂窝板钎焊接头连接状态与超声检测C扫描信号的关系,建立了钎焊接头有效连接面积的超声检测分析模型,并基于该模型生成C扫描图像。利用图像增强、边缘检测等图像处理方法对C扫描图像进行处理,处理后的图像能够清晰地显示出钎焊接头形貌。将钎焊接头尺寸的实际测量值与超声检测值进行对比,结果表明,超声检测所得焊缝有效连接面积与实测值绝对误差小于0.11 mm,证实了超声波检测可用于铝合金蜂窝板钎焊连接面积定量分析。

关键词 钎焊; 铝合金蜂窝板; 超声波检测; C扫描

中图分类号 TG454; TG441.7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.04.016

Ultrasonic C-scan Detection of Aluminum Honeycomb Plate Brazing Joint

CHENG Zhiyi, LIN Yuting, ZHOU Guanghao, CHENG Weiqing

Abstract With an analysis of the relation between the aluminum honeycomb plate brazing joint and the ultrasonic C-scan detection method, an ultrasonic detection analysis model for the effective brazing joint connection area is established, on which a C-scan image is generated. Then, C-scan images are processed by the image processing methods such as image enhancement and edge detection. The processed images can clearly show the shape of the brazing joints. The actual measurement value of the brazing joint size is compared with the ultrasonic testing value, and the results show that the absolute errors of the effective connection area are less than 0.11 mm, which realized the quantitative automatic ultrasonic detection of the connection area for brazing aluminum honeycomb plate.

Key words brazing; aluminum honeycomb plate; ultrasonic detection; C-scan

First-author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

目前,铝合金材料广泛应用于航空航天、铁路公

路等领域,以满足日益增长的产品结构轻量化需求^[1]。铝合金蜂窝板主要采用粘接和钎焊方法连接成型,其中钎焊成型的铝合金蜂窝板具有更高的连接强度,因而成为主要发展方向。目前,对钎焊接头常规的破坏性检验方法只能进行抽样检测,难以彻底反映实际焊接结构的质量,因此,对铝合金钎焊蜂窝板进行无损检测,具有重要的工程意义。

超声波检测技术由于具有方便、高效、安全等优点,在无损检测领域受到广泛关注^[2-3],而且在电阻点焊、激光焊缝等薄板结构焊接质量检测评估方面已有比较成熟的应用^[4-5]。本文通过精确定位超声波C扫描检测的方法,对钎焊接头的有效连接面积这一评价钎焊质量的关键指标进行研究,以实现铝合金蜂窝板钎焊连接状态的定量化无损检测评估,这对铝合金蜂窝板钎焊成型质量控制,具有重要的工程意义。

1 材料与试验

1.1 试件制备

试验材料为钎焊铝合金蜂窝板,其结构如图1所示。上下蒙皮及中间蜂窝芯均为AA3003铝合金;蒙皮与蜂窝结构之间通过钎焊方法连接,钎料为AA4343铝合金,上下蒙皮厚度均为1 mm,蜂窝芯厚度和高度分别为0.2 mm和13 mm。两种铝合金材料的化学成分如表1所示。

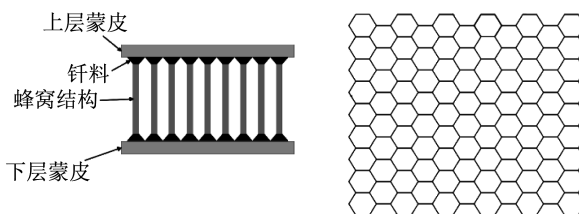


图1 铝合金蜂窝板结构图

1.2 检测设备及方法

铝合金蜂窝板钎焊接头的自动超声C扫描检测系统如图2所示。该系统由便携式工业计算机、全功

表1 铝合金基材与钎料化学成分(质量分数) %

材料型号	Mn	Si	Cu	Fe	Zn	Mg	Al
AA3033	1.00~ 1.50	<0.60	0.05~ 0.20	<0.70	0.20	0.03	余量
AA4343	0.10	6.80~ 8.20	0.25	0.80	0.20		余量

能超声卡、X-Y机械运动机构及中心频率为15 MHz的聚焦超声波探头组成。自动超声检测系统可实现对铝合金蜂窝板的步进式精确定位超声C扫描检测。超声检测过程中,在每个步进扫描节点,都会获得一个A扫描信号,并且自动存储在计算机中,便于记录和分析数据。超声C扫描检测路径如图3所示。扫描步长为0.108 mm。扫描结束后,获得的超声波C扫描检测数据矩阵为200×200。

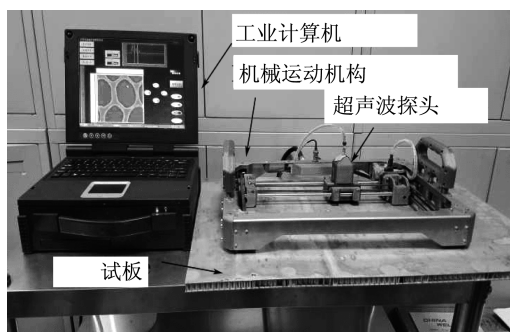


图2 铝合金蜂窝板自动超声C扫描检测系统

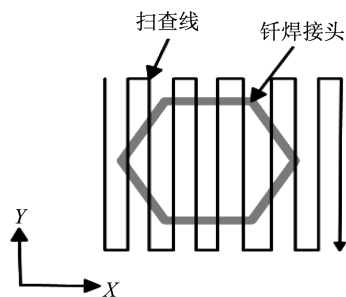


图3 超声探头扫描路径示意图

2 钎焊接头超声C扫描检测成像

针对钎焊接头不同连接特征区的扫描节点超声A扫描信号特征,对信号进行分析及特征值提取,进而生成超声C扫描图像数据。图4为铝合金蜂窝板钎焊接头不同位置超声A扫描信号传播路径示意图。当超声探头在非焊缝区1位置时(A扫描信号如图5 a)所示),由于铝蒙皮板与空气的声阻抗相差很大,入射到其底面的声波几乎全部被反射回来。探头位于焊缝区边缘2位置时(A扫描信号如图5 b)所示),除上层蒙皮表面回波外,此时声波会从上层蒙皮底面进入到钎料中,并在钎料的表面反射。探头

位于焊缝区3位置时(A扫描信号如图5 c)所示),超声波会穿过钎料和蜂窝壁进入下层蒙皮,并且在下层蒙皮的下底面发生反射。

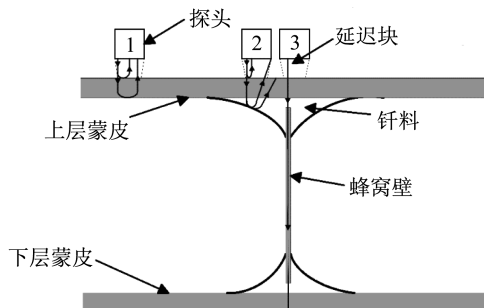


图4 超声波在钎焊试件不同位置的传播路径示意图

从图5 a)的时域信号可以看出,上层蒙皮的底面一次回波振幅峰值最高,其他回波峰值依次降低。这是因为超声波在上层蒙皮内传播时,声束的扩散以及晶粒的散射不断消耗声波的能量,导致多次反射波的峰值逐渐降低。从图5 b)的时域信号可以看出,此时探头发出的超声波透过上层蒙皮进入钎料,并在钎料的下表面发生发射,但是由于钎料的浸润作用,声波在钎料的下表面发生斜反射,有一部分声波可以被探头接收,一部分声波不能被探头接收,导致一次回波振幅峰值降低。从图5 c)的时域信号可以看出,此时探头没有接收到回波信号,这是因为蜂窝壁厚度过薄,声波在传播的过程中衰减过大,导致探头接收不到反射信号。

以上分析表明,探头在钎焊试件不同位置时,A扫描回波信号的一次回波振幅峰值有很大差异,因此,可选取一次回波的幅值作为特征值来构建C扫描图像,如图6所示。从图6中可以看到焊缝边界信息,但图像质量不佳,这主要受检测表面的粗糙度、探头倾斜度及耦合状态等因素的影响。

3 超声C扫描图像处理

为了更清晰、更直观地显示接头边界信息,实现钎焊接头连接面积的量化检测,使用计算机图像增强、边缘检测方法对接头连接面积的超声C扫描图像进行处理。

3.1 图像增强

为有效消除或减弱原始超声C扫描图像的噪声,突出钎焊接头的边界信息,使用均值滤波和中值滤波的方法对C扫描图像进行处理。通过实验分析和比较后发现,具有平滑特性的中值滤波对C扫描

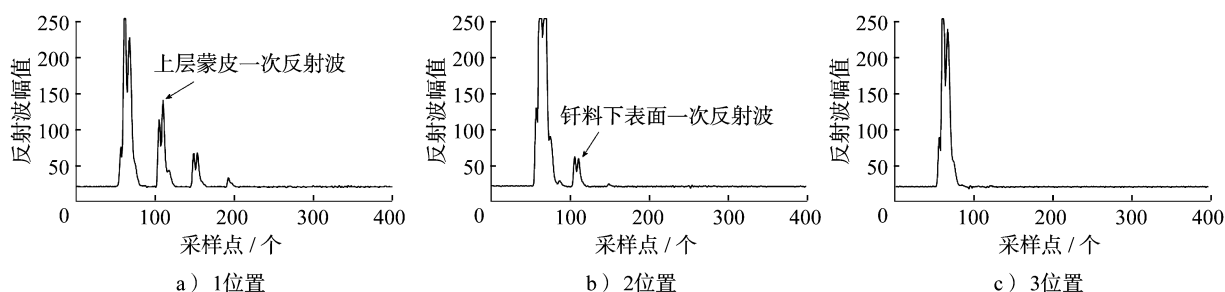


图5 钎焊不同部位的超声A扫描信号

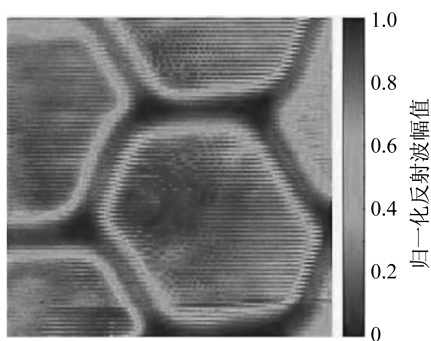


图6 钎焊蜂窝板的超声C扫描图像

图像处理效果最好。图7 a)为 7×7 中值滤波处理后的C扫描图像。从图中可以看出,中值滤波不仅滤除了C扫描图像上的尖锐噪声,而且使原始图像更加平滑,接头边界更加明显,提高了C扫描图像的质量,这对下一步边缘提取奠定了良好的基础。

3.2 边界识别

利用Canny边缘检测算子对中值滤波处理后的图像进行边缘提取,如图7 b)所示。从图中可以看

出,利用Canny边缘检测算子能够较好地提取钎焊接头边缘的特征信息。为了识别和分析图像中的连接区域边界,对图像进行窗口灰度变换,将图形进行阈值分割,突出连接区域的边界特征,如图7 c)所示。边缘分割后的图像不仅边界更加清晰,而且大大降低了运算数据量,这为量化获取钎焊接头连接区域面积提供了有利的条件。

3.3 钎焊接头质量评估

获取钎焊接头连接区域的有效面积是评价钎焊接头质量的一个关键。对处理后的超声C扫描图像中所有扫描线进行提取,通过计算机程序算法算出每一条扫描线上的连接长度,然后将相邻两条扫描线和焊合边缘相交的区域近似为梯形(梯形的高就是超声波扫描的步长)。

相邻两条扫描线的连接区域面积可以近似看成梯形的面积,然后将所有相邻扫描线之间的连接面积相加,即可得到整个扫描区域中钎焊接头区的连接面积。

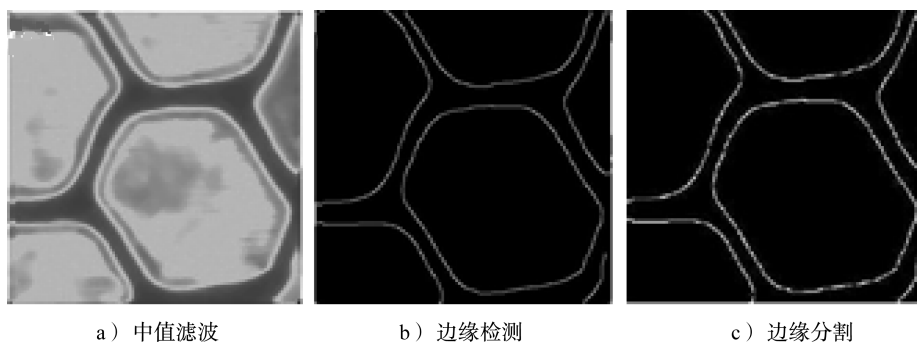


图7 超声C扫描图像

4 检测结果分析

为了验证焊合长度计算的准确性,对8个形状规格相同的蜂窝板试件的钎焊接头进行超声波检测,所有检测条件以及参数都相同。在每个试件上选出一条特定的扫描线,然后沿着这条扫描线剖开,得到

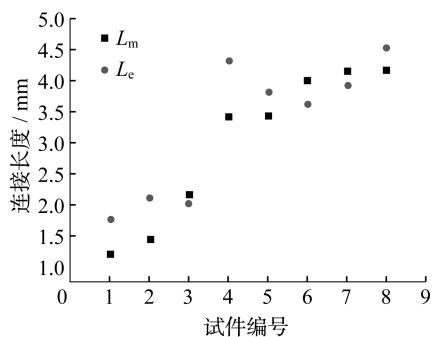
剖面金相图片,如图8所示。通过金相图中的标尺可得该扫描线上的实际连接长度。

提取原始超声C扫描图像上的扫描线,然后计算这条扫描线上的连接长度,将计算得出的检测值与金相测量值比较,如图9 a)所示(L_m 是金相测量值, L_c 是原始C图像扫描线上焊合长度的检测值)。从图

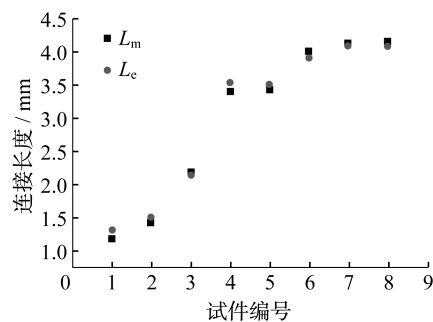


图8 钎焊接头的宏观金相图

9 a)中可以看出, L_m 与 L_e 相差较大。为分析造成这种情况的原因,提取扫查线上A扫描信号一次反射波



a) 原始C图像上扫查线



b) 处理后C图像上扫查线

图9 超声波检测扫描线的焊合长度值与实际测量值

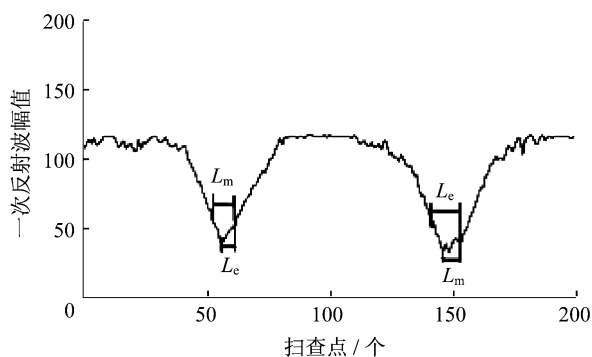


图10 扫查线上一次反射波幅值曲线

5 结论

1) 在钎焊接头的不同区域,超声波检测的一次反射波幅值会有很大不同。提取超声A扫描信号的一次反射波幅值作为特征值来构建超声C扫描图像,可以清晰地反应出钎焊接头的边界特征信息。

2) 对超声C扫描图像进行图像增强和边缘检测处理,不仅可以获得清晰的接头边界,而且可大幅降低运算数据量,同时通过计算机算法程序可以自动获取每条扫查线上的连接长度值,为计算接头连接区域的面积提供了量化数据。

幅值,结果如图10所示。从图10中可以看出,直接提取原始C扫描图像扫查线计算线上连接长度,会受到接头边缘的影响,接头边缘的不确定导致了检测值的偏差。为减少接头边缘对检测值的影响,首先对原始C扫描图像进行图像增强和边缘提取处理,然后提取处理后的图像扫查线上的连接长度,并将经过计算得出的测量值与金相测量值进行对比,结果如图9 b)所示。从图9 b)中可以看出,超声波的测量值与金相实测值吻合良好,误差不大于0.11 mm,这说明在本试验条件下超声波C扫描检测具有非常高的精度。

3) 使用图像处理后的超声C扫描检测图像所获得的连接区域长度值和实测值吻合良好,绝对误差不大于0.11mm,表明该计算方法检测精度高,可用于铝合金蜂窝板钎焊接头连接面积的计算机自动计算中。

参考文献

- [1] SANTOS M C, MACHADO A R, SALES W F, et al. Machining of aluminum alloys: a review [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 86(9):3067.
- [2] ZHOU G H, XU G C, GU X P, et al. Simulation and experimental study on the quality evaluation of laser welds based on ultrasonic test [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 93:3897.
- [3] LIU J, XU G C, GU X P, et al. Ultrasonic C-scan detection for stainless steel spot welds based on signal analysis in frequency domain [J]. ISIJ International, 2014, 54(8):1876.
- [4] LIU J, XU G C, GU X P, et al. Ultrasonic test of resistance spot welds based on wavelet package analysis [J]. Ultrasonics, 2015, 56:557.
- [5] XU H Y, LI Y F, JIANG C Z. Quantitative ultrasonic detection and tensile-shear property prediction for laser welds of stainless steel [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 99(1):301.

(收稿日期:2019-07-21)