

地铁车辆铸造零件铆接间隙类别的远场涡流检测方法研究

孟鹤夏 宁魏培欣

(中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京)

摘要 [目的] 铆接质量问题无法直观判断,通过采用远场涡流探伤检测方法,可检测铆接结构件内部质量缺陷,以期产品质量检测提供理论和技术支撑。[方法] 在不破坏工件的基础上进行铆接质量检测及判别间隙类型;针对轨道车辆铆接结构件的中板间间隙和铆钉孔间隙,分别开展了远场涡流检测试验;选取地铁车辆抗侧滚扭杆座与车体底架边梁铆接工作试件,开展了涡流探伤试验研究。[结果及结论] 从三组实验结果可知:根据相位角的范围可区分铆钉与孔的间隙和板间间隙类别,孔间间隙的相位幅值范围为 $60^\circ \sim 90^\circ$,板间间隙的相位幅值范围为 $0 \sim 10^\circ$ 。

关键词 地铁车辆; 铆接; 远场涡流检测

中图分类号 U270.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.05.018

Research on Far-field Eddy Current Testing Method for Riveting Clearance Classification of Metro Vehicle Casting Component

MENG He, XIA Ning, WEI Peixin

(CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China)

Abstract [Objective] Riveting quality issues cannot be visually judged. By employing the far-field eddy current testing method, internal quality defects in riveted structural components can be detected, providing theoretical and technical support for product quality inspection. [Method] Riveting quality inspection and classification of clearance types are conducted without damaging the workpiece. Far-field eddy current testing experiments are carried out for the intermediate plate clearance and rivet hole clearance of rail vehicle riveted structural components respectively. Testing research on metro vehicle anti-roll torsion bar seats riveted to the body frame side beams is also conducted. [Result & Conclusion] From the results of the three sets of experiments, it is evident that the range of phase angles can distinguish between rivet and hole clearances and plate clearances. The phase amplitude range for hole clearances is 60° to 90° , while for plate clearances, it is 0 to 10° .

Key words metro vehicle; riveting; far-field eddy current testing

铆接连接方式是轨道车辆中常见的连接方式。铸造零件与车体大部件组装时存在装配误差,使得铆接质量受到影响,偶发铆钉松动的现象发生,铆接质量问题是由于板间隙或孔间隙问题引发的无法直观判断。

RFECT(远场涡流检测技术)是一种能穿透轨道车辆铆接结构件的低频检测技术。与其他无损检测技术相比,它具有如下优点:① 渗透深度大,能够完全穿透铆接结构件,在检测表面间隙的同时也能检测深层间隙;② 非接触性检测,无需清除被测工件表面覆层即可开展检测;③ 无需耦合,不会对工件表面造成污染且易于自动化检测;④ 提离效应弱,探头干扰小,易于操作;⑤ 对检测环境要求较低,且可以进行长距离的检测;⑥ 检测成本低,对环境的污染小,对人体不会造成伤害。由此可见,远场涡流检测技术特别适合轨道车辆铆接结构件的检测。

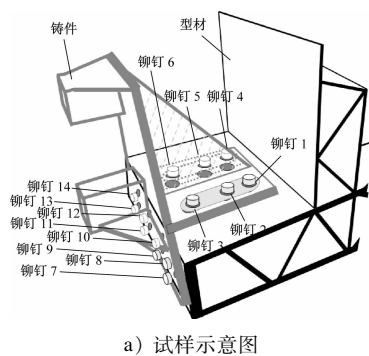
选取地铁车辆抗侧滚扭杆座与车体底架边梁铆接工作试件,在不破坏工件的基础上进行铆接质量检测及间隙类型判别涡流探伤试验研究。

1 试验样件制作

地铁车辆铆接结构试件铆钉标号示意图如图1所示,其由14个铆钉将钢质铸件与铝质型材铆接在一起,将其分别命名为铆钉1~14。为了便于区分,根据铆接部位的不同,将铆钉分为2组:第一组为铆钉1~6,第二组为铆钉7~14,样件一为标准样件,样件二为孔间隙样件,样件三为板间隙样件。将铆钉孔及两类间隙的尺寸统计于表1。

2 试验样件制作

试验使用的仪器是SSEC V型远场涡流仪。仪器实物图如图2所示,其可以驱动通用远场涡流探头以及其他普通涡流探头,超敏感涡流仪探头系列



a) 试样示意图



b) 试样实物

图1 铆接结构试件铆钉布置

Fig. 1 Layout of rivet marks on riveting structural specimens

表1 试验试样

Tab. 1 Test specimen

单位:mm

试样	分组	铝件 铆钉孔	钢件 铆钉孔	铝侧 孔间隙	钢侧 孔间隙	板间 间隙
样件一	第一组	10.4	10.6	0	0	0
	第二组	10.4	10.6	0	0	0
样件二	第一组	11.0	11.3	0.6	0.7	0
	第二组	11.0	11.3	0.6	0.7	0
样件三	第一组	10.4	10.6	0	0	1.0
	第二组	10.4	10.6	0	0	1.0



图2 SSEC V型远场涡流仪照片

Fig. 2 Photo of SSEC V-type far-field eddy current device

主要有反射探头、绝对探头、差分探头,SSEC V型远场涡流仪是超敏感涡流仪第五代产品,基于

Windows 8 系统平台开发,在 Windows 环境下,用户可以更轻松、更安全地传输和处理采样数据,并可以将 SSEC V 型远场涡流仪作为平板电脑使用,在本机上就可完成数据算法分析处理。

检测探头采用远场涡流环形差分探头,检测频率为 40 ~ 1 000 Hz。该探头专为轨道车辆铆接结构件间隙检测而设计,其尺寸与铆钉尺寸相适应,检测时可以套在铆钉上与铆接结构件完好接触。这样就最大程度地避免了提离效应的影响,增加了抗干扰能力与灵敏度,保证了对结构件的检测效果。

3 试验样件检测

3.1 检测频率的选择

3.1.1 SSEC V 型远场涡流检测探头工作频率

SSEC V 型远场涡流仪探头工作频率范围为 40 ~ 200 Hz,仪器频率的选择要根据检测对象的各种特性(如电导率、磁导率等)和涡流传感器(探头)的频率范围等。一般来说,在其他检测条件和参数都一样的条件下,频率越低,渗透深度越大。

3.1.2 前放增益的调节

探头前放增益参数调整范围为 0 ~ 60 dB,主要用于对放大信号大小的调节,即信号幅度大小的调节。“前放”是一种前置放大作用,它是在信号拾取后对信号进行放大作用。

3.1.3 后放增益的调节

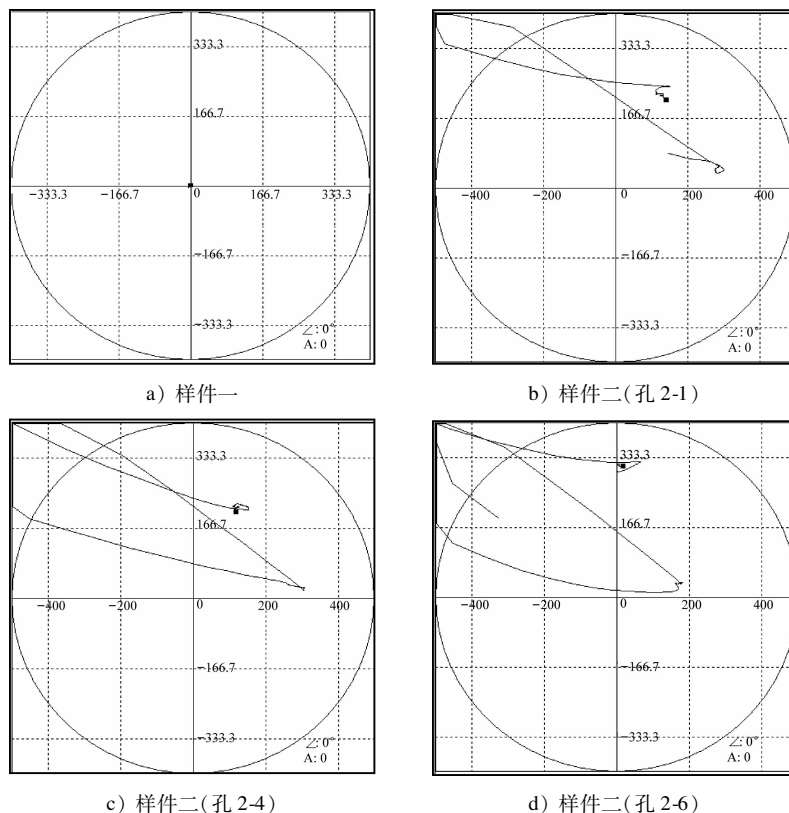
后放增益是 SSEC V 型远场涡流仪解调后的信号放大,是首选控制信号“实部/虚部”比例的方式。其增益范围为 0 ~ 40 dB。

3.2 检测试验

检测试验所使用的参数为:驱动频率为 0.1 kHz,驱动电流为 100 mA,参考电流为 100 mA;采样频率为 100 Hz,前置增益为 22 dB,后置增益为 35 dB。

3.2.1 孔间隙检测试验

以样件一铆钉为基准,依次检测样件二。图 3 为孔间隙检测结果截图。由图 3 可知:孔 2-1、孔 2-4、孔 2-6 相应位置处铆钉的相位值依次为 60°、72°、88°,其信号幅值分别为 251 mV、240 mV、260 mV;探头在样件一置 0 后,样件二中孔间隙均有检测信号,且呈现相位值范围为 60° ~ 90°。涡流场能量能有效穿过铆接结构铸钢件与铝件,对于孔间隙 0.6 ~ 0.7 mm 的缺陷可通过观察信号相位值获得。



注:Z为角度;A为幅值信号。

图3 孔间隙检测结果截图

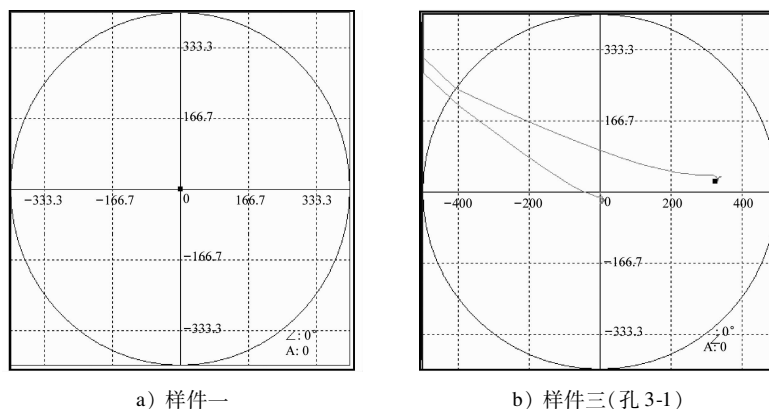
Fig. 3 Screenshot of hole clearance testing results

3.2.2 板间隙检测试验

以样件一铆钉为基准,依次检测样件三。图4为板间隙检测结果截图。由图4可知:孔3-1、孔3-4、孔3-6相应位置处铆钉的相位值依次为 6° 、 8° 、 9° ,其幅值分别为335 mV、248 mV、208 mV;探头在样件一置0后,样件三中板间隙均有检测信号,且呈现相位值范围为 $6^\circ \sim 10^\circ$ 。涡流场能量能有效穿过铆接结构铸钢件与铝件,对于孔间隙1 mm的缺陷可通过观察信号相位值获得。

4 试验总结

图5为样件二铆钉与孔间隙相位图。图6为样件三板间隙相位图。通过抗侧滚扭杆座铆接样件的制作,选取典型的间隙缺陷即铆钉与孔的间隙、两板间隙,通过调整相位角,观察检测数据。由图5及图6可知:从3组试验结果来看,涡流检测信号对孔间隙与板间隙显示的信号是有差异的。



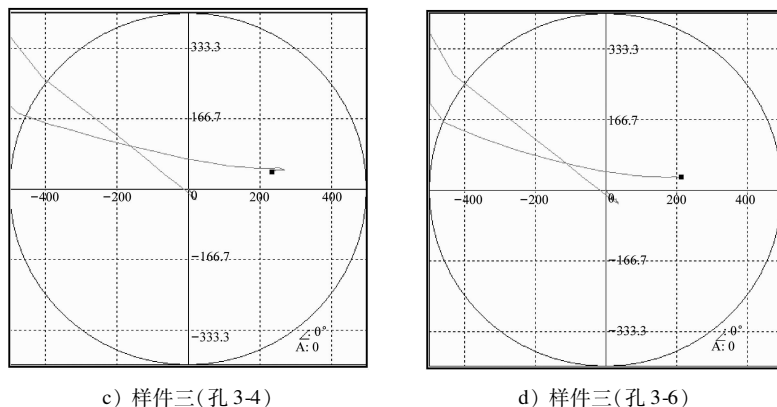


图4 板间隙检测结果截图

Fig. 4 Screenshot of plate clearance testing results

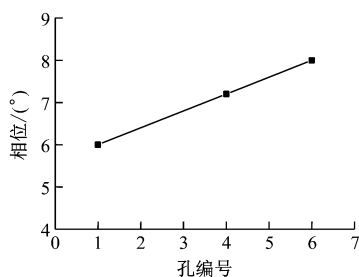


图5 样件二铆钉与孔间隙相位图

Fig. 5 Phase diagram of specimen II rivet and hole clearance

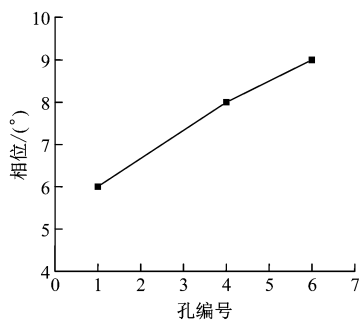


图6 样件三板间隙相位图

Fig. 6 Phase diagram of specimen III rivet and plate clearance

5 结语

对铆接结构形式引起的铆钉与铆钉孔间隙、铆接母材间间隙等质量问题,以理论和试验测试相结合的方法,开展了含典型工况的铆接平板构件的 RFECT 评价研究,形成了铆接平板构件质量的

RFECT 技术检测工艺规范和评价标准,这为地铁车辆铆接质量的无损检测提供了理论和技术支撑。

参考文献

- [1] 支文琪. 紧固组件超声成像与检测技术的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
ZHI Wenqi. Research on ultrasonic imaging and testing technologies for fasteners[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [2] 张辉, 杨宾峰, 荆毅飞, 等. 基于连通磁路的脉冲远场涡流传感器设计及缺陷定量评估与分类识别[J]. 传感技术学报, 2012, 25(10): 1370.
ZHANG Hui, YANG Binfeng, JING Yifei, et al. Defect quantification and classification based on design of connected magnetic core pulsed remote field eddy current probe[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2012, 25(10): 1370.
- [3] 杨宾峰, 罗飞路, 张玉华, 等. 脉冲涡流在飞机铆接结构无损检测中的应用研究[J]. 计量技术, 2005(12): 15.
YANG Binfeng, LUO Feilu, ZHANG Yuhua, et al. Application of pulsed eddy current in nondestructive testing of aircraft riveted structures [J]. Measurement Technique, 2005(12): 15.

· 收稿日期:2023-12-01 修回日期:2024-12-24 出版日期:2024-05-10

Received:2023-12-01 Revised:2024-12-24 Published:2024-05-10

· 通信作者:孟鹤,正高级工程师,40666362@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com