

轨道车辆用双组份环氧胶剪切疲劳性能研究

钱秀敏

(中车长春轨道车辆股份有限公司工程技术中心,130062,长春//正高级工程师)

摘 要 为了保证轨道车辆粘接结构的安全可靠性,粘接结构设计时需要系统地分析所用胶粘剂的抗疲劳性能。从振动频率、加载载荷、基材表面处理方式等方面对轨道车辆应用的双组份环氧胶的剪切疲劳性能进行了测试分析。
关键词 轨道车辆;粘接接头;双组份环氧胶;剪切疲劳性能
中图分类号 TQ933.4⁺37
DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.02.017

Study on Shear Fatigue Performance of Two-component Epoxy Adhesive Used for Rail Vehicle
Qian Xiumin
Abstract To ensure safe reliability of rail vehicle bonding structure, the anti-fatigue performance of the adhesive used for bonding structure designs requires systematic analysis. From the perspectives of vibration frequency, load, substrate surface treatment method, the shear fatigue performance of two-component epoxy adhesive applied in rail vehicle is tested and analyzed.
Key words rail vehicle; bonding joints; two-component epoxy adhesive; shear fatigue performance
Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

轨道车辆粘接接头的可靠性受粘接基材、基材表面处理方式、胶粘剂性能及施工工艺等多种因素影响。车辆运行过程中,粘接接头承受载荷振动后会引起接头疲劳。部件寿命周期内的粘接开裂可能会影响车辆运行。车顶或车下的部件如粘接脱落可能会引起车辆运营事故。因此,对轨道车辆粘接结构所用胶粘剂的振动疲劳性能研究变得异常重要。
环氧胶具有粘接强度高、抗剥离、抗冲击、收缩性小等特点。轨道车辆主机厂应用环氧胶的结构粘接部位主要是地板、座椅等安装支撑。支撑一般直接粘接在车体结构上,车辆运行时

粘接后的支撑会受车体振动的影响,使得粘接接头产生振动载荷疲劳失效。本文对用于轨道车辆的双组份环氧胶的剪切疲劳性能进行了测试分析。

1 试验概况

轨道车辆用胶粘剂选用双组份环氧胶,型号为 Aradilte2015。按照 ISO 9664—1993《粘合剂 拉伸剪切胶粘件疲劳性能的试验方法》进行胶粘件疲劳性能测试分析。试验样件为标准试样,应力幅值 τ_a 选为 0.3 τ_R (静态剪切强度),试验设备选用 INSTRON 8802 疲劳试验机。按照 GB/T 7124—2008《胶粘剂 拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)》进行样件的测试。粘接基材为铝合金,胶层厚度为 0.5~1.0 mm,试验样件固化 7 d 以上。

2 试验结果与分析

2.1 振动频率对粘接接头的影响

受路况及车辆固有频率的影响,粘接接头在车辆运行过程中会相应地受到不同频率的振动冲击。测试了在相同加载载荷条件下,不同振动频率对粘接接头疲劳性能的影响。
样件基材为铝合金,处理方式为砂纸打磨,加载载荷取 1 100 N。根据轨道车辆运营条件及胶粘剂的特性频率,选取 5 Hz、10 Hz 和 30 Hz 等 3 种振动频率对粘接接头进行了测试。测试结果见表 1~3。

| 加载载荷/N | 疲劳极限断裂次数/次 | 接头状态 |
|--------|------------|------|
| 1 100 | 37 441 | 失效断裂 |
| 1 100 | 34 889 | 失效断裂 |
| 1 100 | 39 369 | 失效断裂 |
| 1 100 | 39 369 | 失效断裂 |

表 2 振动频率为 10 Hz 时粘结接头的测试结果

| 加载载荷/N | 疲劳极限断裂次数/次 | 接头状态 |
|--------|------------|------|
| 1 100 | 47 744 | 失效断裂 |
| 1 100 | 42 298 | 失效断裂 |
| 1 100 | 36 579 | 失效断裂 |
| 1 100 | 43 788 | 失效断裂 |

表 3 振动频率为 30 Hz 时粘结接头的测试结果

| 加载载荷/N | 疲劳极限断裂次数/次 | 接头状态 |
|--------|------------|------|
| 1 100 | 22 749 | 失效断裂 |
| 1 100 | 14 743 | 失效断裂 |
| 1 100 | 20 600 | 失效断裂 |
| 1 100 | 18 059 | 失效断裂 |

从相同加载条件下不同频率样件的疲劳极限断裂次数及粘结接头失效状态分析得出,振动频率为 5 Hz 和 10 Hz 时,疲劳极限断裂次数未发生很大变化;但当振动频率增加到 30 Hz 时,疲劳极限断裂次数会衰减很多。从整体数据看,疲劳极限断裂次数最大也不超过 5 万次,显然这是无法满足车辆结构的寿命要求的。

2.2 基材表面不同的处理方式对粘结接头剪切强度的影响

基材只做打磨处理进行粘接的疲劳样件,疲劳极限不到 5 万次。为确保粘接接头满足车辆结构的寿命要求,对粘接基材进行了喷砂处理。喷砂后基材粘接接头在 10⁴、10⁵、10⁶ 次振动循环后的疲劳试验数据及疲劳极限结果见表 4~6。

表 4 振动循环 10⁴ 次后粘结接头的测试结果

| 振动频率/Hz | 加载载荷/N | 振动循环次数/次 | 接头状态 | 残余强度/MPa |
|---------|--------|-----------------|------|----------|
| 30 | 1 100 | 10 ⁴ | 未断裂 | 22.46 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁴ | 未断裂 | 27.02 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁴ | 未断裂 | 24.77 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁴ | 未断裂 | 24.60 |

表 5 振动循环 10⁵ 次后粘结接头的测试结果

| 振动频率/Hz | 加载载荷/N | 振动循环次数/次 | 接头状态 | 残余强度/MPa |
|---------|--------|-----------------|------|----------|
| 30 | 1 100 | 10 ⁴ | 未断裂 | 19.34 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁴ | 未断裂 | 22.52 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁴ | 未断裂 | 24.42 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁴ | 未断裂 | 24.56 |

表 6 振动循环 10⁶ 次后粘结接头的测试结果

| 振动频率/Hz | 加载载荷/N | 振动循环次数/次 | 接头状态 | 残余强度/MPa |
|---------|--------|-----------------|------|----------|
| 30 | 1 100 | 10 ⁶ | 未断裂 | 22.68 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁶ | 未断裂 | 23.43 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁶ | 未断裂 | 16.06 |
| 30 | 1 100 | 10 ⁶ | 未断裂 | 23.35 |

从表 4~6 可以看出,粘接基材经喷砂处理后,其粘接接头有着良好的疲劳强度;10⁶ 次振动循环后粘结接头的剪切强度平均值为 21.38 MPa,衰减率仅为 9.7%。说明 Aradilt 2015 胶与铝合金喷砂基材的粘接接头的剪切疲劳耐久性远远好于打磨基材。手工打磨存在力度不均匀,疏松的氧化皮可能存在未打磨彻底的现象。机械喷砂后基材表面致密均匀,可以获得具有良好耐久性的粘接界面。

2.3 加载载荷对粘结接头剪切疲劳极限的影响

采用 Aradilt 2015 胶的粘接件都是承载件。车辆在运营中会受到各方向载荷的作用,因此,粘接接头所承受载荷的耐久性亦是非常重要的考核因素。测试了加载载荷分别为 1 100 N 和 1 500 N 时粘接接头的疲劳极限,如表 7~8 所示。

表 7 加载载荷为 1 100 N 时粘结接头的剪切疲劳极限

| 振动频率/HZ | 加载载荷/N | 疲劳极限断裂次数/次 | 接头状态 |
|---------|--------|------------|------|
| 30 | 1 100 | 1 455 858 | 断裂 |
| 30 | 1 100 | 2 124 051 | 断裂 |
| 30 | 1 100 | 840 009 | 断裂 |
| 30 | 1 100 | 1 990 821 | 断裂 |

表 8 加载载荷为 1 500 N 时粘结接头的疲劳极限

| 振动频率/HZ | 加载载荷/N | 疲劳极限断裂次数/次 | 接头状态 |
|---------|--------|------------|------|
| 30 | 1 500 | 662 991 | 断裂 |
| 30 | 1 500 | 291 270 | 断裂 |
| 30 | 1 500 | 486 248 | 断裂 |
| 30 | 1 500 | 237 143 | 断裂 |

由表 7~8 可知,加载载荷为 1 100 N 时,样件的疲劳极限平均断裂次数为 1 602 684 次;加载载荷为 1 500 N 时,样件的疲劳极限平均断裂次数为 419 413 次。加载载荷与疲劳极限断裂次数关系如图 1 所示。

从图 1 可以看出,加载载荷对粘结接头的疲劳
(下转第 74 页)

模拟结果进行相关弹塑性试验,在底架试验模块中选取 10 个关键点监测其拉伸力与剪切力,拉伸力与剪切力试验各分两组,每组左侧为理论允许受力值,右侧为实测受力值。表 2 为底架结构的拉伸力与剪切力实测值。由表 2 可见,该结构的拉伸力与剪切力均满足理论要求,验证了设计的合理性。

| 表 2 底架结构的拉伸力与剪切力实测值 单位:N | | | | | |
|--------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 编号 | 材料 | 许用 剪切力 | 最大 剪切力 | 许用 拉伸力 | 最大 拉伸力 |
| 1 | 301LN,1/8 | 4 922.00 | 1 956.39 | 1 230.50 | 349.47 |
| 2 | 301LN,1/4 | 8 122.00 | 3 589.27 | 2 030.50 | 303.76 |
| 3 | 301LN,1/4 | 1 229.50 | 444.2 | 307.38 | 95.98 |
| 4 | 301LN,1/4 | 1 846.00 | 205.22 | 461.50 | 18.57 |
| 5 | 301LN,1/4 | 2 727.50 | 1 344.67 | 681.88 | 554.9 |
| 6 | 301LN,1/4 | 4 922.00 | 937.74 | 1 230.50 | 45.3 |
| 7 | 301LN,1/4 | 1 229.50 | 579.4 | 307.38 | 97.65 |
| 8 | 301LN,1/8 | 2 727.50 | 825.6 | 681.88 | 344.88 |
| 9 | 301LN,1/8 | 4 922.00 | 2 110.48 | 1 230.50 | 362.76 |
| 10 | 301LN,1/16 | 8 122.00 | 1 985.22 | 2 030.50 | 355.02 |

5 结语

基于 ASME 标准的地铁车辆技术的实现具有

跨时代的意义,目前仅有法国阿尔斯通公司、日本川崎公司、加拿大庞巴迪公司获得了纽约地铁资质。中车长春轨道客车股份有限公司突破了外国公司对我国形成的技术壁垒,将成为第 4 个具有纽约地铁资质的公司。基于 ASME 标准的地铁车辆技术对我国企业开拓国外市场起到了巨大的推进作用,此项技术具有广阔应用前景。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范:GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁车辆通用技术条件:GB/T 7928—2013[S]. 北京:中国质检出版社,2013.

[3] 杨延龙. 西安地铁一号线车体钢结构设计[J]. 科技视界, 2015(5): 85.

[4] 汪学岭,岳译新. 郑州地铁 1 号线车体底架设计[J]. 技术与市场,2012(4): 94.

[5] 刘军,周传谊. 天津地铁 2 号线车辆车体钢结构设计[J]. 城市轨道交通研究,2014(1): 51.

[6] 刘玉民,刘晓芳,陆冠含. 美标城市轨道交通车辆不锈钢车体结构研发[J]. 现代城市轨道交通,2018(6): 5.

(收稿日期:2020-09-05)

(上接第 70 页)

极限断裂次数的影响很大,加载载荷由 1 100 N 增加到 1 500 N 时,样件的疲劳极限断裂次数降低 73.8%,衰减幅度较大。

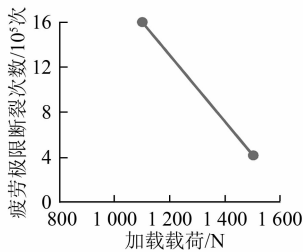


图 1 加载载荷与疲劳极限断裂次数关系图

3 结论

1) 振动频率、加载载荷、基材表面处理方式等因素均对 Aradilt 2015 胶的剪切强度有较大的影响。

2) 轨道车辆粘接接头设计时,为使粘接接头获得较长寿命,以及确保粘接的可靠性,需要针对不同的基材及其不同的表面处理方式,在车辆各种运行工况下对粘接接头进行结构受力分析与试验验证。

3) 轨道车辆粘接用环氧胶属于承载受力接头,通过研究它的使用寿命确定检修周期非常有必要。接头寿命受疲劳极限、使用环境等多种因素的制约。目前,并没有可靠的计算方法计算其使用寿命,而实验数据积累则需要较长的周期,因此后续还需对其进行更深入的研究。

参考文献

[1] 杜美娜,黄海江. 丙烯酸结构胶单搭接剪切疲劳性能的影响因素[J]. 粘接,2015(5): 11.

(收稿日期:2020-09-05)