

# 铝合金城际动车底架枕梁垫板焊接裂纹控制

李金龙, 焦锐, 胡伟

中车株洲电力机车有限公司 湖南株洲 412001

**摘要:** 基于铝合金城际动车铝合金底架枕梁垫板焊接裂纹产生原因及控制, 分析了城际动车铝合金底架枕梁垫板在设计及组焊工艺上存在的问题, 根据这些出现的问题, 介绍了铝合金城际动车铝合金底架枕梁垫板焊接裂纹的整个控制过程, 并进行了跟踪验证与总结, 为相关城际动车铝合金底架开发与工艺部门制定工艺提供参考依据。

**关键词:** 铝合金底架; 设计改进; 工艺改进

## 1 序言

铝合金车辆因具有良好的耐蚀性、撞击吸能特性、防火安全性, 以及轻量化和维护成本低等特点, 所以现已广泛应用于轨道交通装备制造中。铝合金城际动车采用全铝合金车体制作, 由于在前期的设计与制作时缺乏相应的验证, 故在图样设计上与工艺准备上还不够成熟, 其中在铝合金城际动车铝合金底架组焊时, 在枕梁垫板处出现了焊接裂纹, 直接影响了产品质量与生产进度, 因此需要及时解决底架枕梁垫板焊接裂纹的问题。

## 2 现状

由于底架的主要作用是承重, 并且在底架两侧与动车车轮相连接, 因此动车运行中其不仅承受整车质量, 还存在较大的动载荷, 是铝合金动车上的重要部件。在铝合车体设计时, 对底架组焊的焊缝质量等级不仅要求比较高(铝合金车体组焊中大部分CPB焊缝都在底架上), 而且在底架组焊时, 焊接缺陷也控制的比较严格, 不允许任何焊缝出现未熔合、裂纹等焊接缺陷, 特别是焊接裂纹。由于动车在动载作用下, 容易产生疲劳断裂及脆性断裂的

### 参考文献:

- [1] 新井浩.铁道车辆的车体材料及其特征[J].国外机车车辆工艺, 2005 (7): 31-32, 36.
- [2] KAWASAKI Takeshi, MAKINO Toshiaki, et al.Application of friction stir welding to construction of railway vehicles[J].Series A, 2004, 47 (3): 502-511.
- [3] DAVENPORT John, 苑春艳.摩擦搅拌焊接技术已在欧洲推广应用[J].国外机车车辆工艺, 2002 (4): 14-15, 27.
- [4] 川崎健, 蔡千华.摩擦搅拌焊接在铝制双壳车体上的应用[J].国外机车车辆工艺, 2006 (1): 10-14, 17.
- [5] 彭蝶, 张连华, 韩晓辉, 等.轨道交通制造焊接技术应用现状及发展趋势[J].金属加工(热加工), 2020 (8): 6-9, 13.
- [6] MISHRA R S, MA Z Y.Friction stir welding and processing[J].Materials Science and Engineering R, 2005, 50 (1): 1-78.
- [7] 刘会杰.静止轴肩搅拌摩擦焊的研究进展[J].焊接学报, 2012, 33 (5): 108-112.
- [8] 褚强, 郝思洁, DEVANG S, 等.静止轴肩搅拌摩擦焊研究进展及展望[J].电焊机, 2020, 50 (9): 44-52.
- [9] 吉华, 徐萌, 封小松, 等.静止轴肩搅拌摩擦焊T型接头组织及力学行为[J].电焊机, 2013, 43 (9): 31-40.

MW 20210315

风险，因此是铝合金车体组焊中质量控制的重点。

在首列4个底架组焊试制中，底架都完成了相关交车与检验，但在底架多次转运后，有2个底架在枕梁垫板处出现裂纹，分别是T-1、M-1车共有3处焊接裂纹（T-1车2处，M-1车1处），特别在T-1车有一处长约2103mm的裂纹（见图1），几乎整道焊缝都裂开了，直接影响动车的运行安全。



图1 T-1车长约2103mm的裂纹

### 3 原因分析

（1）过程分析 由于大地板与枕梁垫板焊接时产生较大变形，所以在端部件与枕梁垫板装配中出现6mm左右间隙。为保证装配间隙，正面装配时采用4个1t的重块压紧点，如果不能保证间隙，翻面后用千斤顶顶紧，强制将大地板与端部件上枕梁垫板的间隙控制好，然后进行段焊，因此在装配后，大地板与枕梁垫板存在较大的内应力。

（2）检验分析 首先，在对裂纹处焊缝进行断面PT检测及断口熔深进行检测时（见图2、图3），均未发现气孔、未熔合、熔深不足等超标焊接缺陷。

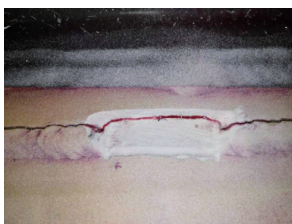


图2 PT检测

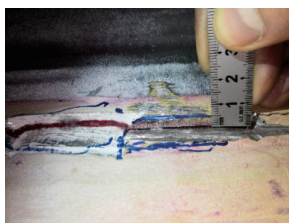


图3 断口熔深检测

其次，对裂纹处切下来的一小块试样进行微观组织观察，发现在熔合线上沿晶界处出现多处层状撕裂的微观裂纹（见图4、图5），

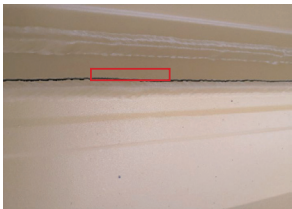


图4 取样位置

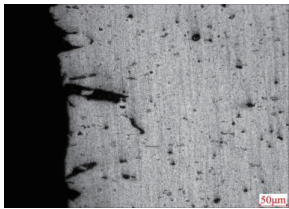


图5 微观组织（200×）

通过以上检测分析，初步判断为焊接应力引起的焊后延迟裂纹。

### 4 预计改进措施

（1）减少焊接应力以防止裂纹的产生 首先，垫板的裂纹主要是由枕梁与垫板的5HY焊缝焊接时产生的应力引起的（见图6），焊接时在保证焊缝熔深的前提下尽量采用较小的焊接参数，减少热输入来减小应力的产生。

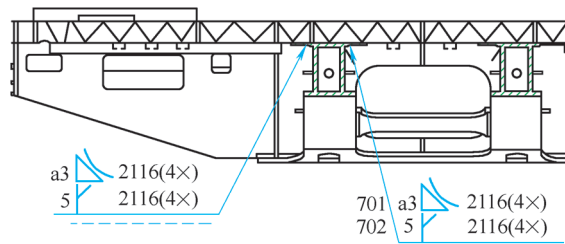


图6 5HY焊缝位置

其次，采用合理的装配与焊接顺序，使焊接变形得到一定控制，以减小大地板与枕梁垫板强制装配而产生的内应力。

（2）增加垫板的强度以防止裂纹的产生 枕梁垫板宽度较大，而地板只有1排塞焊孔。为保证垫板强度，建议将塞焊孔由1排增至2~3排，以提高垫板的强度。

（3）增加垫板的厚度以防止裂纹的产生 试制的4台车只是T-1、M-1车共有3处焊接裂纹，证明此处正是产生裂纹的临界点，因此通过增加垫板的厚度（1mm左右）来提高母材的强度，达到防止裂纹产生的目的。

### 5 过程实施

（1）工艺改进（以T-2车为例） 为减小底架大地板变形引起的装配间隙过大的问题，在大地板与枕梁垫板组焊时，只进行塞焊孔焊缝的焊接。在与端部件组焊后，先进行枕梁垫板与端部件的打底焊，让枕梁垫板与大地板焊缝自由收缩后再进行所有焊缝的焊接，如图7所示。

在采用改进焊接工艺后，底架组焊（T-2车）在班组交验时未出现裂纹。但在对底架多次吊运与加工后，在焊缝端头处，由于应力集中造成段焊处出现局部裂纹（见图8），因此改进焊接工艺虽然对控制焊缝裂纹有一定作用，但还不能完全避免裂纹的

（下转第85页）

度高于A572母材规定值,说明按该工艺方案制作的试件获得了抗拉强度较好的焊缝。

2) 侧弯试验采用弯头直径为63.5mm,弯曲角度为180°,4个试样均未出现裂纹缺陷,说明焊缝塑性较好。

3) 冲击试验中焊缝中心冲击吸收能量较高,达到101J;A572一侧,冲击吸收能量尚可,说明该种材料HAZ脆化不严重;A514一侧冲击吸收质量较低,说明其HAZ中出现了脆性组织,后续生产中必须控制焊接参数。

4) 接头硬度可以间接反应出焊缝冷裂倾向。通常来讲,接头硬度越高,冷裂倾向越大。A572屈服强度 $\leq 460\text{MPa}$ ,接头硬度应 $\leq 380\text{HV}10$ ;A514屈服强度 $\geq 690\text{MPa}$ ,接头硬度应 $\leq 450\text{HV}10$ 。用显微硬度仪对两侧母材与HAZ、焊缝进行硬度检测。从表6可以看出,焊缝硬度在215~250HV10,硬度分布均匀;A514侧HAZ及熔合线硬度在255~291HV10,较母材硬度低,此种现象说明调质钢焊接后HAZ有

一定软化倾向。

## 5 结束语

1) A572与A514异种钢焊接,采用药芯焊丝气体保护焊,根据低强匹配原则选用E71T-1C H8低氢焊材,焊接工艺评定试验符合AWS D1.1要求。

2) 正火钢与低碳调质钢焊接,焊缝接头存在冷裂倾向,HAZ有脆化、软化问题,但辅以适当的预热措施,控制层间温度,采用小热输入,可以得到满意的接头性能。

3) 该工艺用于出口燃气轮机底座的焊接生产,产品质量满足客户的技术要求。

## 参考文献:

- [1] 周振丰.焊接冶金学(金属焊接性)[M].北京:机械工业出版社,1996.
- [2] 陈祝年.焊接工程师手册[M].第2版.北京:机械工业出版社,2009.

MW 20210324

(上接第78页)

产生。



a) 大地板准备

b) 装配后实物

图7 大地板装配焊接前的准备

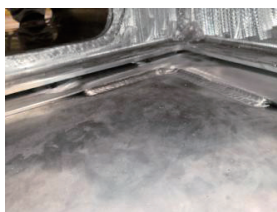


图8 枕梁垫板段焊处的裂纹

(2) 设计改进 经多次与相关设计人员沟通后,同意将后期底架部件的单排开孔改为3排塞焊孔枕梁垫板(见图9)。在对3排塞焊孔枕梁垫板进行工艺验证后,未出现裂纹,因此从T-3车开始应用于生产中。

(3) 焊后检测(以T-3车为例) 焊后对枕梁垫板焊缝进行PT检测,未发现裂纹(见图10)。在对

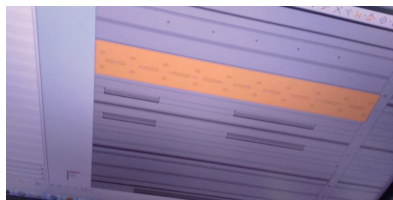


图9 枕梁垫板塞焊孔改进

后续铝合金底架组焊的3台车的跟踪检测,均未发现裂纹,目前相关设计已完成更改。



图10 T-3车枕梁垫板的PT检验数据库的采集

## 6 结束语

通过上述工艺改善方案,使铝合金城际动车底架枕梁垫板焊缝合格率达到100%,有效地提升了铝合金城际动车底架枕梁垫板的焊接质量;同时也减少了生产班组因返工造成的工时及物料浪费,并为相关工艺、设计等部门提供合理的参考依据。

MW 20210203