



关于铝合金地铁车体牵引梁翼板裂纹的研究

胡伟 毕小琴 赵卫

【摘要】 本文针对铝合金地铁车体牵引梁翼板与端部盖板焊缝出现的裂纹问题，采用十字拉伸试验研究6082-T6板材Z向力学性能，分析牵引梁翼板焊缝裂纹产生原因及改进方案。

关键词： 牵引梁翼板；焊接裂纹；6082-T6铝板；Z向力学性能

1. 概述

铝合金地铁车体端部结构在焊接过程中出现了牵引梁翼板与端部盖板焊缝裂纹的问题，端部结构焊后批量出现长150mm左右表面裂纹，使车体质量与安全受到一定的影响。针对此裂纹问题，本文先后进行了一系列焊接工艺试验分析裂纹产生原因，通过优化焊接坡口形式、焊接参数、焊接材料，稍微改善了翼板撕裂情况，但是不能完全根除翼板撕裂，最终分析板材材质，通过十字拉伸试验研究板材Z向力学性能，找到了焊接裂纹产生的主要原因。鉴于此，本文分析了牵引梁翼板开裂的原因与改进方案，为铝合金地铁车体类似结构的焊接与选材提供参考。

2. 铝合金车体材质概述

铝合金地铁车体目前常用的材料主要为5083-H111（铝镁合金）、6005A-T6、6082-T6（铝镁硅合金）这三种。5083-H111主要用于折弯件板材，其他

板材绝大部分为6082-T6，型材除底架牵引梁型材和部分管材为6082之外，其余所有的型材均为6005A。6082-T6铝合金属于热处理可强化合金，具有良好的可成形性、可焊接性、可机加工性，同时具有中等强度，在退火后仍能维持较好的操作性，主要用于机械结构方面，包括棒材、板材、管材和型材等。其-T5和-T6状态适用于良好机械加工性的要求。

3. 车体焊接裂纹的产生

某项目铝合金车体底架正面焊缝焊后，司机室地板与牵引梁翼板端接8HY/a3焊缝（见图1）焊接完成后（焊接参数见表1），在牵引梁翼板侧（无坡口侧）熔合线及热影响区0~3mm区

域沿焊缝方向断续开裂，裂纹深度多发生在2~8区域，都发生在牵引梁两翼板侧（见图2）。随后进行裂纹排查，发现许多车体也出现相应的问题。

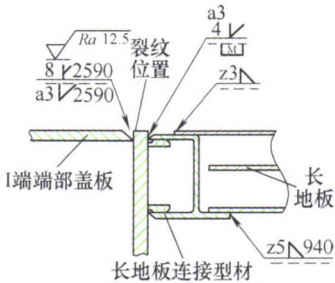


图1 端部结构示意

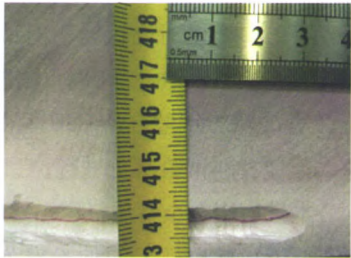


图2 裂纹示意

表1 8HY/a3焊焊接参数

焊道	焊接方法	焊接材料	焊丝直径/mm	焊接电流/A	焊接电压/V	弧长/mm	送丝速度/m·min ⁻¹
1	MIG	ER 5087	1.6	236	23.2	-10	10.2
2	MIG	ER 5087	1.6	222	22.8	-5	9.8
3	MIG	ER 5087	1.6	218	22.6	-5	9.6
4	MIG	ER 5087	1.6	230	23.0	-4	10.0

检测结果显示，所有试块都存在部分撕裂。图中截取试块12-3部分检测结果，蓝色记号笔标记的地方母材及熔合线处有撕裂。在图8中，对试块分别进行PT检测，图中截取12-3试块部分检测结果，结果显示，所有试块都存在部分裂纹。在图9中，对部分UT检测合格的试块12-3送理化试验中心进行微观检测，每个试块取一个面，每个面上取两个微观点，微观点的取样位置都在熔合区，与焊缝表面的距离分别是3mm及7mm；放大倍数分别为100倍及500倍。

通过试验发现，更改焊接接头可以降低翼板撕裂情况，但是不能完全根除牵引梁翼板焊接裂纹。

（4）6082-T6板材Z向力学性能 上述从焊接坡口形式、焊接参数、焊接材料力学性能方面未能发现裂纹形成的主要原因，因此本文根据EN 1090-3、ISO 9018标准制作标准试块，进行了板材的十字拉伸试验，以获得带有横向应力角焊缝焊接接头的拉伸强度和断裂部位。

根据ISO 9018：2015（E）标准制备了批次号为1550027150与1550027151的十字拉伸焊接试样各1件，焊丝为ER5087，气体为70%Ar+30%He+150ppm N₂（1ppm=10⁻⁶）。焊接试块如图10所示。

试样焊接完成后根据标准取样做十字接头拉伸试验，根据十字拉伸试验及其结果可知，试块的抗拉强度仅为71~86MPa，与EN 1090-3标准要求的EN AW-6082-T6板材样品最低横向抗拉强度149MPa有较大差距， 仅为

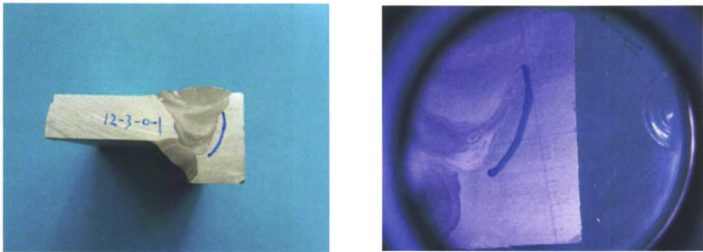


图7 宏观检测

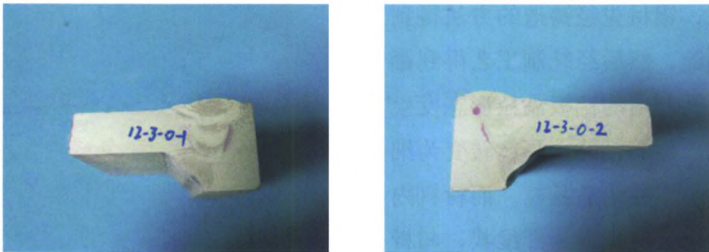


图8 PT检测

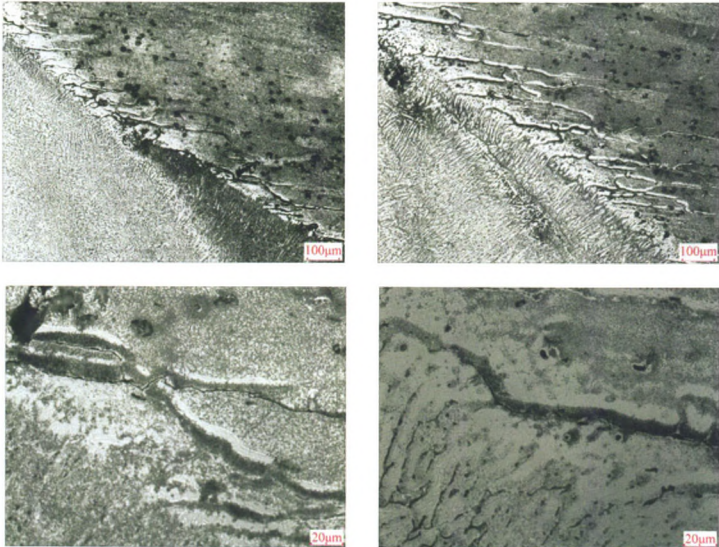


图9 微观检测

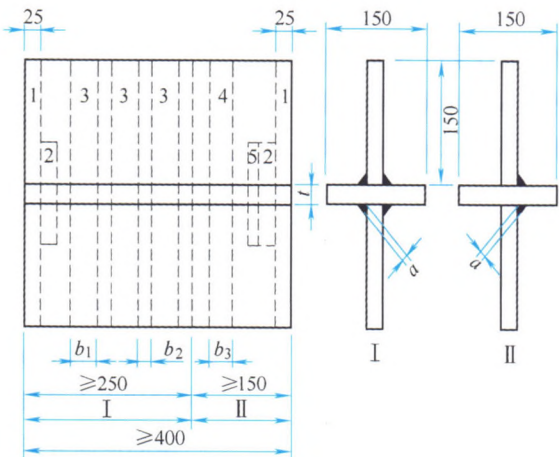


图10 焊接试块取样示意

标准要求强度的一半。通过图11、图12试件金相，发现焊接后母材出现微观裂纹，且拉伸试验断口出现在微观裂纹处。

综上所述，导致裂纹产生的主要原因为牵引梁翼板材质不达标。6080-T6板材为轧制铝合金板材，铝材先经铸造的方法得到铸铝锭，然后经轧制工艺得到铝板，轧制后的铝板晶粒形态发生变化，由等轴的大晶粒转变为细长的类似柱状晶晶粒。而材料内部的也被轧制成为纤维状，与析出物共同组成纤维组织，使铝合金板材出现各向异形。造成板材Z向（板厚方向）力学性能明显低于板材轧制方向力学性能，本文中板材十字拉伸试验也验证了目前牵引梁翼板所使用的EN AW-6082铝合金板材不满足应用要求的事宜。这种板材在Z向方向上的物理性能不足以抵抗施加的作用力，导致了焊接过程中的液化裂纹出现。这种裂纹发生在所有使用了这种板材的T形接头上。

鉴于轧制板材各向异形的特性，在后续的项目牵引梁翼板选材时选用各向力学性能均匀的挤压板材6005A-T6，同时焊接过程选用合理的焊接工艺，尽量采用小的焊接热输入，避免焊缝枝晶粗大，减小偏析，以减小热裂倾向。通过改善工艺措施与选取合适的材料，目前牵引梁翼板焊缝裂纹已得到控制。

5. 结语

通过选用Z向力学性能更优的6005A-T6挤压板材，通过优化焊接工艺，铝合金地铁牵引梁翼板裂纹问题得以解决。截止目

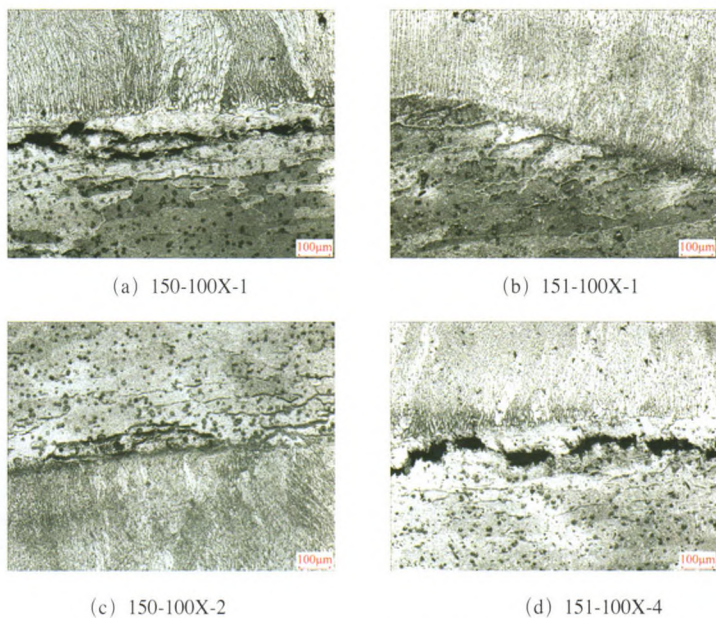
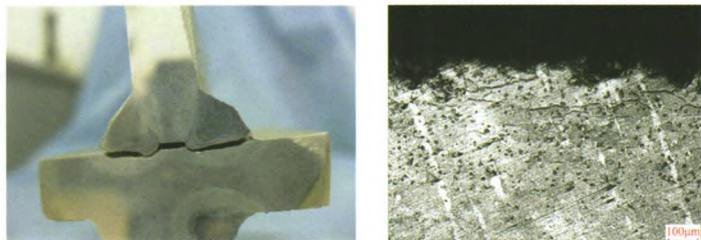
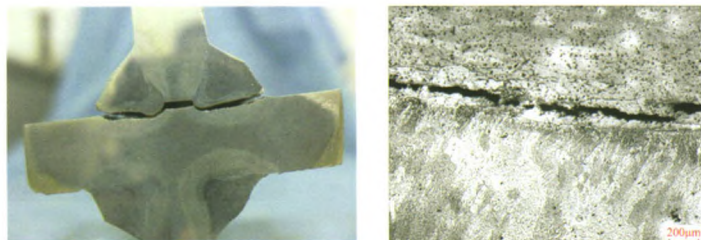


图11 微观金相组织



(a) 大样断口边缘-100X



(b) 大样未拉断焊缝（下为焊缝上为母材）-50X

图 12

前，新项目上均采用6005A-T6挤压板材，焊后检测没有出现裂纹，合格率100%。已经交付业主使用车辆，运营良好，得到了业主的肯定与好评。

参考文献：

- [1] 张岩，李欣斌，陈凤娇. 6082铝合金扁铸锭锯切裂纹产生的原因分析[J]. 科技创新与应用，2013(13).

- [2] 王占学. 塑性加工金属学[M]. 北京：冶金工业出版社，1991.
- [3] 周万盛，姚君山. 铝及铝合金的焊接[M]. 北京：机械工业出版社.

作者简介：胡伟等，中车株洲电力机车有限公司城轨事业部。

MW 20170404