



6061铝合金T形接头PD位置 焊缝根部链状气孔产生原因 及预防措施

明晖 刘丙臣 李尧

【摘要】 针对6061铝合金PD位置T形接头焊缝根部链状气孔问题进行研究，发现提高预热温度可以有效减少焊缝根部气孔的数量，当预热温度提升至150℃时，焊缝根部气孔基本消除，且不会对接头组织性能造成不利影响。

关键词： 焊接；链状气孔；预热温度；铝合金；焊缝根部

铝合金具有密度小、比强度高、耐腐蚀、挤压成形性能好等优点，符合轻量化设计的要求，是主要的轨道车辆结构材料。随着我国高速铁路和城市轨道交通的快速发展，铝合金材料得到了越来越广泛的应用。

本文针对12mm厚的6061铝合金T形接头PD位置焊接培训过程中根部链状气孔的相关问题进行研究，通过调整焊接工艺来解决此缺陷，为高速列车车体制造工艺的改善提供参考。

1. 存在的问题及分析

(1) 存在的问题 对12mm厚6061铝合金PD位置T形接头进行断裂试验，断口形貌如图1所示，可见焊缝存在大量链状气孔，并且气孔集中分布于根部熔合线附近。

(2) 问题分析 气孔是铝合金焊接过程中容易产生的缺陷之一，产生的气孔类型主要为氢气孔。氢气孔产生的原因大致可以分为两种：一是因为铝的化学性质比较活泼，与氧亲和力大，

在常温下都会氧化，表面生成氧化铝（ Al_2O_3 ）薄膜即焊接材料及母材所吸附的水分、空气中的水分、相对湿度等；二是氢在铝合金液态和固态的溶解度不同，氢在液态铝中的溶解度较大为0.7mL/100g，凝固时溶解度为0.04mL/100g，所以原来溶于液

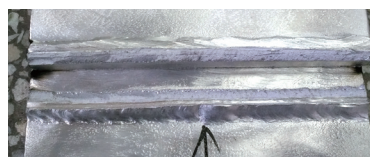


图1 断口形貌

底架组焊后的检查结果 (mm)

检查项目	工程尺寸	公差	实测数据
长度	18994	+6, +12	19006
宽度	1393	±2	1393~1395
整体对角线	—	≤8	2~3
波纹板平面度	—	≤5	5
司机室地板平面度	—	≤3	3
波纹板直线度	—	≤10	10
吊装孔与图纸偏差	—	±2	0

- [2] 饶忠. 列车制动（第二版）[M]. 北京：中国铁道出版社，2011.
- [3] 严隽耄. 车辆工程[M]. 北京：中国铁道出版社，2007.

作者简介：袁超等，天津中车唐车轨道车辆有限公司。

MW 20170621

态铝中的氢会在凝固时大量析出，形成气泡上浮。由于铝导热快，凝固快，所以会有一些浮不出来的气泡就形成气孔夹在焊缝中，即属于析出型气孔，导致相关问题更加突出。

12mm厚T形接头PD位置存在大量链状气孔主要原因：T形接头的散热方向多于对接接头，其散热速度更快，对气孔逸出不利；试板的厚度加大到一定程度会进一步增加气孔逸出的难度；同时，PD位置焊接时熔池倒悬，根部位置的气孔难以排出，其他位置的气孔也容易上浮至此。基于以上三点原因，导致气孔会在接头根部熔合线处大量堆积。

解决焊接气孔问题的关键在于消除气体来源，控制气孔的产生和促进气体的逸出。在保护良好的情况下氢气孔的产生与母材、焊丝表面吸附的水分息息相关，适当提高预热温度有利于减少水分的吸附；此外，良好的预热可以降低焊后冷却速度，有利于焊接气体的逸出。但是铝合金的预热也有一定的限制，过高的预热温度和过长的持续时间会引发接头软化严重、合金元素烧损、晶粒粗大等问题，一般来讲对于12mm厚的6061铝合金最大预热温度不应超过200℃，持续时间不能超过30min。

2. 试验材料和设备

试件材质：6061铝合金；试件规格：12mm×150mm×200mm；焊丝牌号：ER5356， ϕ 1.2mm；接头形式：T形接头；焊缝空间位置：PD；焊接方法：熔化极惰性气体保护焊

131（MIG）；保护气体种类及纯度：Ar99.999%；焊接设备：福尼斯TPS 4000焊机；试板及焊丝化学成分如表1所示。

3. 焊接工艺试验

（1）焊前清理 首先使用丙酮溶液清洗试板表面，去除表面油污；然后使用不锈钢碗刷对试件两侧20mm范围内的表面氧化膜进行清理及点固（见图2）。

（2）装配及定位焊 清理、点固结束后，采用三种不同的温度对试板进行焊接：试件3为常温状态，试件2的预热温度为70℃，试件1的预热温度为150℃。

预热方式：氧乙炔火焰加热，以实现对接铝合金试板的快速加热，并用电子测温笔实时监控试板的温度。在实际操作中，耗时不足10min便将试板接头附近的温度提高至150℃，可以满足铝合金快速预热的需求（见图3）。

（3）试件的焊接 焊接参数如表2所示，坡口情况与焊接顺序如图4所示。

焊接试件：采用3M变光面罩以便于操作（见图5）。

4. 试件检测

（1）外观检测 焊后冷却至常温，按照ISO 17637对3组铝合金试板进行外观检测，采用放大镜对接头表面进行细致地观测。接头外观形貌如图6所示，可知三组铝合金试板外观差别较小，焊缝鱼鳞纹均匀清晰，表面没有裂纹、气孔、未熔合等缺陷。

（2）宏观金相检测 外观检测完成后，按照ISO17639对3组铝合金试板进行宏观金相检测。接头的宏观金相如图7所示，可知虽然外观形貌良好，但未进行预热的焊接接头气孔数量较多，尤其在打底焊缝的根部，气孔分布更为密集；预热温度70℃的焊接接头气孔数量有所下降，但打底焊缝根部的气孔仍然较多；预热温度150℃的焊接接头气孔数量最少，并且打底焊缝根部的气孔基本消除。这也充分说明提高预热温度可以有效减少接头气孔的产生，有利于解决根部气孔超标的问题。

表1 6061铝合金及ER5356焊丝化学成分（质量分数）（%）

材料	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
6061	0.75	0.35	0.30	0.50	0.60	0.30	0.15	0.10	余量
ER5356	0.1	0.40	0.10	0.15	4.80	0.10	0.10	0.13	余量

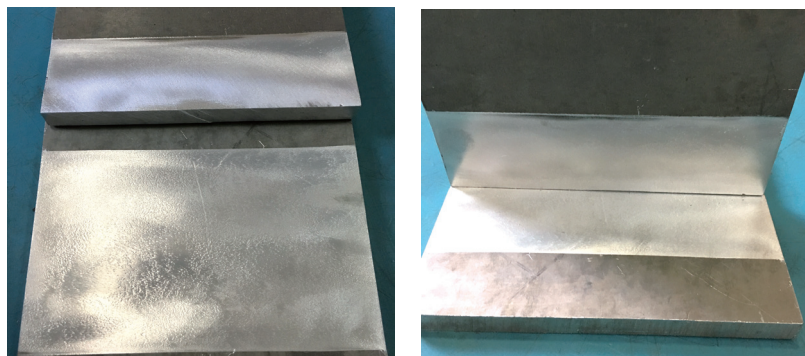


图2 试件清理及点固



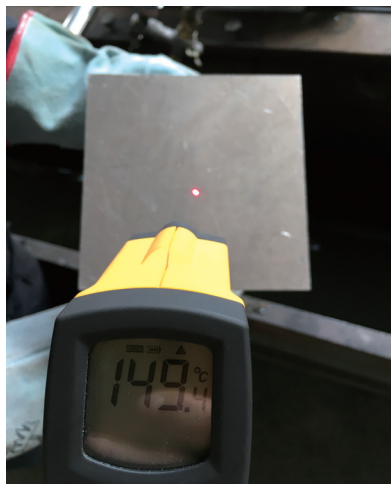
氧乙炔预热



常温状态



预热70℃



预热150℃

图3 预热方式及预热温度

表2 焊接参数

焊道	焊接电流/A	电弧电压/V	保护气体 (%)	焊接速度/mm·s ⁻¹	电流极性
F1	220~240	22~24	99.999	9.0~10.0	DC/+
F2	200~220	22~24	99.999	8.5~10.0	DC/+
F3	200~220	22~24	99.999	8.5~10.0	DC/+

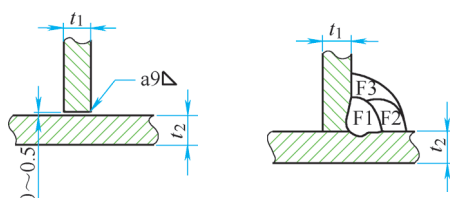


图4 接头形式及焊接顺序

注: $t_1=t_2=12\text{mm}$ 。

(3) 微观金相检测 6061 铝合金对焊接热输入敏感, 过高的预热温度可能会造成组织粗大、接头软化等问题, 为了验证预热温度的合理性, 选取预热温度150℃的铝合金试板, 从接头制取微观金相试样进行观测。接头各个部位的显微组织如图8所示, 接头组织良好, 母材、热影响区、熔合线和焊缝没有因预热而产生过烧、热裂纹、晶粒粗大等问题, 这也说明此预热温度与持续时间较合适。

(4) 断口检测 根据ISO 9017对三组铝合金试板进行断口检测, 接头断口形貌如图9所示, 可知断口检测的试验结果与宏观金相检测结果相符合: 随着预热温度的提升, 焊缝气孔的数量降低, 在预热温度150℃时, 打底焊缝根部的气孔基本消除。

5. 结语

(1) 采用氧乙炔火焰加热可以快速提升试板温度, 适用于铝合金高温预热。



图5 焊接操作中

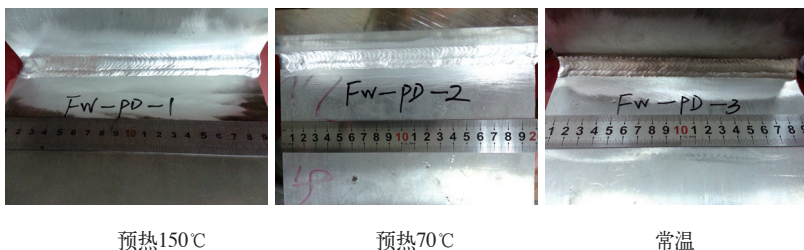


图6 接头外观形貌

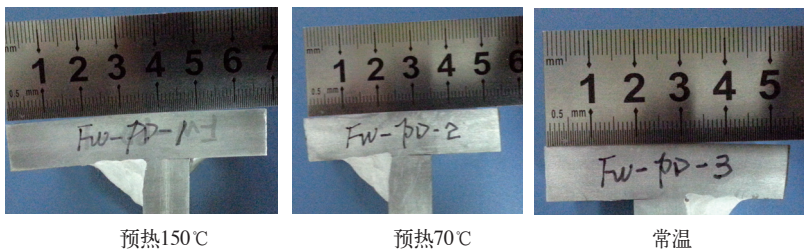
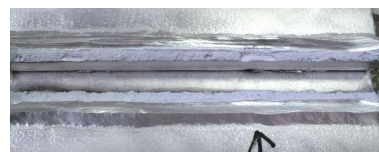
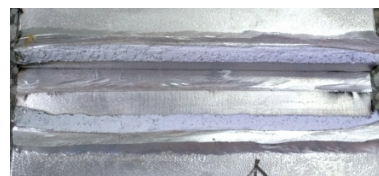


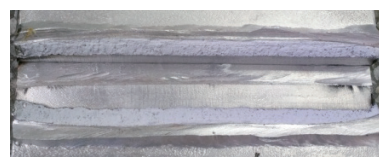
图7 接头宏观金相



常温



预热70°C



预热150°C

图9 接头断面形貌

(2) 在沿用原有焊接参数的基础上,提高预热温度可以有效减少PD位置厚板角焊缝的根部气孔。

(3) 在预热温度升至150°C时,焊缝的根部气孔基本消除,且不会对接头组织造成损伤。

参考文献:

[1] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册[M].第3版(修订本).北京:机械工业出版社,2014.

作者简介:明晖等,青岛四方机车车辆技师学院。

MW 20170321

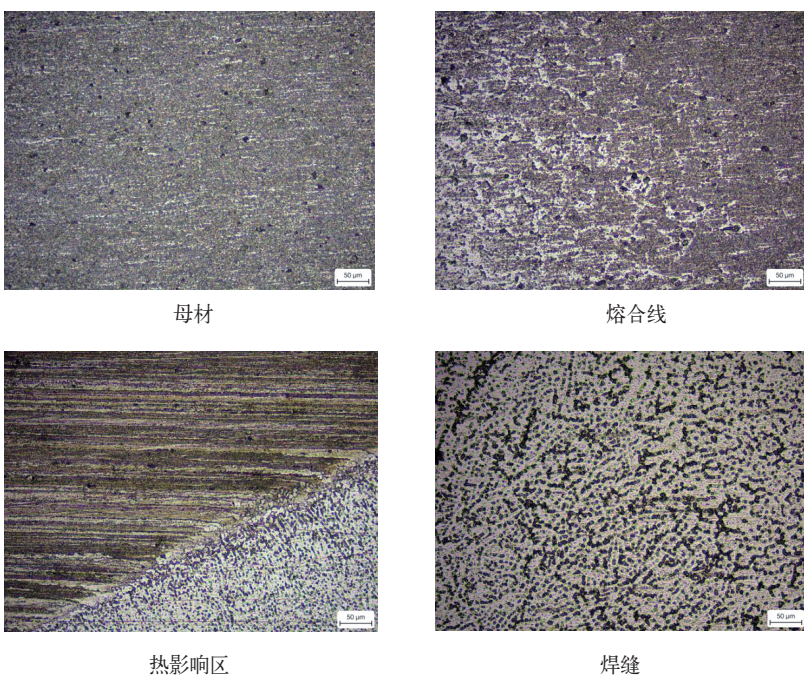


图8 接头显微组织

《金属加工(冷加工)》2017年第16期要目

缸体曲轴孔测量技术探讨
单缸发动机曲轴快速试制精度控制方法
钢制车轮轮辐冲压成形模拟分析
横跨众多行业的通用型加工中心
细长型夹持解决方案让工件更易触及
精密异形滑块加工工艺优化

某型框架零件加工工艺研究
成对大型偏心齿轮单件加工新工艺
机床在线检测技术研究
细长定位孔镗加工装置的设计实施
异形悬臂垫片冲裁工艺优化及模具设计
铁道机车车辆用制动软管总成套箍胀形模设计与应用