

受电弓用 5083 铝合金焊接裂纹分析

符建民¹ 黄思俊² 徐俊² 吴玉启²

(1. 中车唐山机车车辆有限公司, 唐山 064000; 2. 北京中车赛德铁道电气科技有限公司, 北京 100176)

摘要 新设计一种受电弓的上框架采用 5083 铝合金通过钨极氩弧焊(TIG)焊接而成,在试制过程中发现上交叉管与纵支柱连接部位出现裂纹。为查明裂纹产生的原因及机理,对裂纹件取样通过理化测试、金相分析、断口分析技术手段进行了综合分析。分析结果表明:焊接过程中的热输入过大和焊缝凝固时产生的收缩应力使得接头出现液化裂纹,该裂纹属于热裂纹。针对分析结果提出了改进措施并加以验证,为后续类似产品的试制和生产提供一定的技术支撑。

关键词: 受电弓 5083 铝合金 钨极氩弧焊 裂纹
中图分类号: TG407

0 前言

5083 铝合金由于质量轻、比强度高,同时具备良好的焊接性、耐蚀性等优异性能,目前被普遍应用于国内轨道交通车辆及其设备、汽车、船舶等行业^[1-2]。5083 铝合金为 Al-Mg 系铝合金,属于不可热处理强化铝合金,目前常规的焊接工艺包含 TIG 焊、MIG 焊、搅拌摩擦焊和激光焊等工艺^[3]。其中,TIG 焊和 MIG 焊是目前国内轨道交通车辆工厂应用最多的两种焊接方法。TIG 焊常用于焊接接头比较复杂或者接头母材厚度较薄的场合,MIG 焊由于焊接热输入大且焊接效率高常被用于规则的长焊缝或中厚板的场合。新设计一种受电弓上框架采用 5083 铝合金,在试制过程中发现上交叉管与纵支柱焊缝连接部位出现裂纹。文中对产生裂纹的故障件进行了理化性能、金相组织、断口扫描测试分析,以确定缺陷产生的性质和原因,避免了后续生产中再次发生该问题。

1 试件测试

受电弓上框架整体呈等腰梯形结构,左右两根纵支柱为变截面空心梁(壁厚 2.5 mm,如图 1 所示),上交叉管采用铝合金圆柱管(壁厚 4 mm),且母材均为 5083 铝合金(0 态供货),二者采用 TIG 焊接而成。上框架在焊接试制过程中目视上交叉管与纵支柱连接焊缝部位以及管端面处出现裂纹,将其它三根试制完毕

的上框架对该部位采用渗透探伤均发现不同程度的裂纹现象。1 号试件裂纹位置位于管端并延长至焊缝焊趾部位,裂纹长度 8 mm 左右(图 2a 中箭头所指)。2 号试件可视裂纹位于上交叉管端并延长至焊缝焊趾部位,裂纹长度在 6 mm 左右(图 2b 中箭头所指)。3 号试件目视条件下裂纹宽度及长度不及上述两个试件明显,裂纹只是在上交叉管管端及附近部位出现,长度在 3 mm 左右(图 2c 中箭头所指)。对上述框架进行取样用于分析,编号依次为 1~3 号,其中 3 号试样用于金相分析。

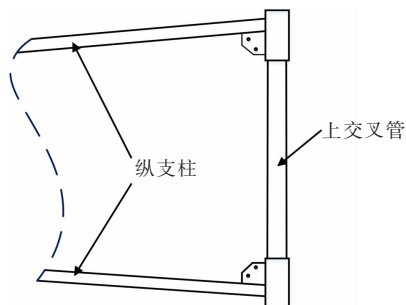


图1 受电弓上框架焊接接头结构示意图



图2 上交叉管裂纹宏观形貌及分布位置

对 1 号和 2 号试件上交叉管部位取样进行化学成分和抗拉强度测试,测试结果见表 1 和表 2,测试结果

收稿日期: 2017-06-02

基金项目: 高速受电弓系统匹配技术研究(2016J005-C)

表1 1号和2号试样化学成分结果(质量分数,%)

类别	Mg	Mn	Fe	Cr	Zn	Ti	Cu	Si
1号	4.70	0.60	0.22	0.1	0.014	0.022	0.030	0.090
2号	4.62	0.58	0.21	0.1	0.013	0.020	0.029	0.088
标准值	4.0~4.9	0.4~1.0	<0.4	0.05~0.25	<0.25	<0.15	<0.1	<0.25

表2 1号和2号试样力学性能测试结果

类别	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)
1号	316	14.5
2号	339	14.0
标准值	≥ 270	≥ 12

均符合国家相关标准。

1.1 材料断口分析

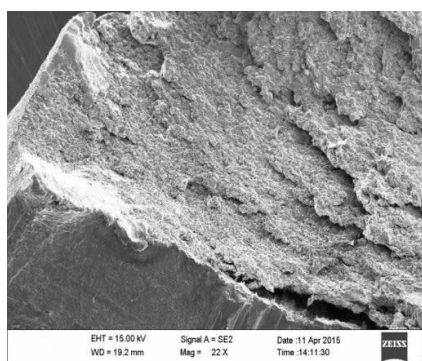
对1号试样裂纹断口采用JSM-6360LV型扫描电镜观察了微观形貌,图3为扫描分析结果。可以看出,1号试样裂纹断口大部分区域均呈沿晶开裂特征,且存在大量二次沿晶裂纹,从图3b和图3c的放大照片看,具有明显的过烧特征,晶粒表面有明显液化迹象。1号

试样裂纹断口只有很小部分具有图3d所示的极浅韧窝断口特征。从而判定1号试样管端及焊趾处在焊接过程中受热严重,从而产生了管端并沿焊趾发展的裂纹。

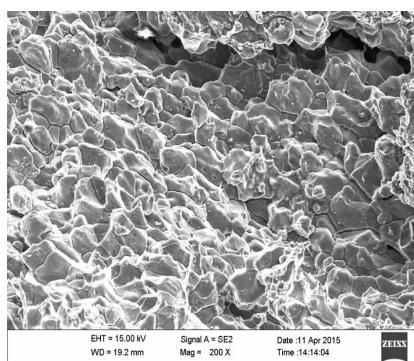
对2号试样裂纹断口采用JSM-6360LV型扫描电镜观察了微观形貌,图4为扫描分析结果。从图4a的放大照片看,该裂纹管端部分的断口呈现沿晶开裂特征,且存在二次沿晶裂纹,具有过烧的特征;然而,扩展到焊缝部分的裂纹断口则不具有沿晶开裂特征,呈韧窝断口特征,如图4b所示。可见,2号试样管端及焊趾处在焊接过程中也受热严重,从而在管端部位产生裂纹。

1.2 金相分析

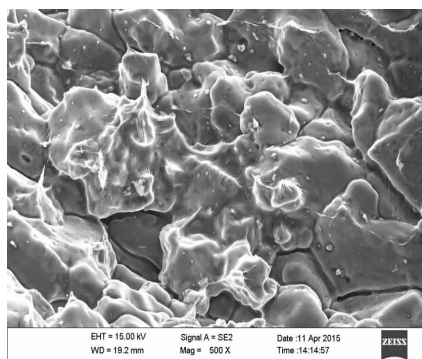
对3号试样靠近管端部位的焊接接头,取样加工金相试件,经打磨、抛光,并用三氯化铁酒精溶液腐蚀后,在4×10光学显微镜下进行了金相分析。图5为金



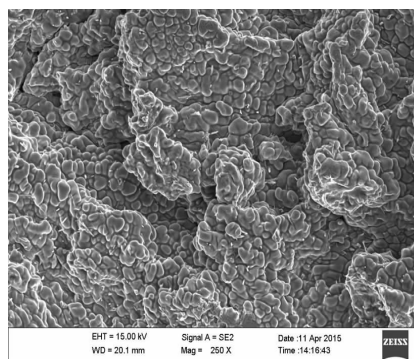
(a) 管端附近断口形貌



(b) 图(a)局部放大形貌

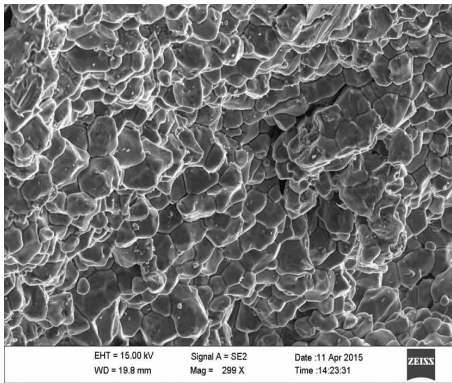


(c) 图(b)局部放大形貌

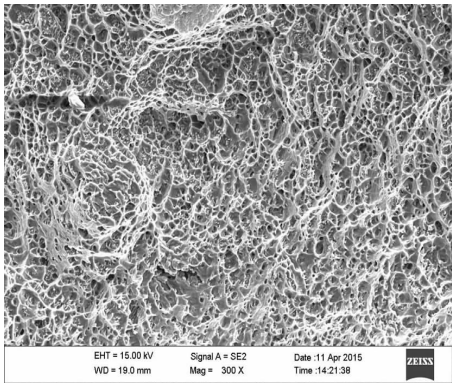


(d) 断口中部微观形貌

图3 1号试样断口形貌



(a) 管端附近断口微观形貌

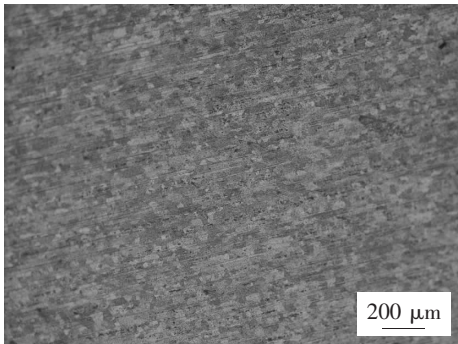


(b) 其它位置断口形貌

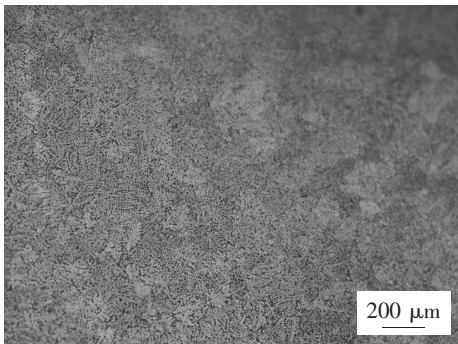
图 4 2 号试件断口形貌



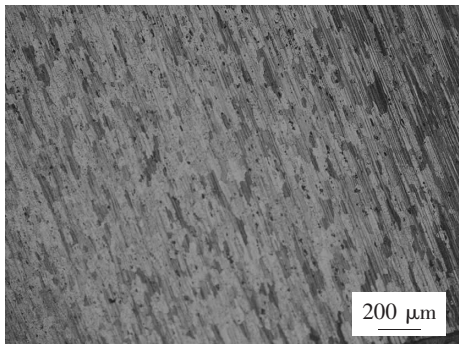
(a) 金相试样宏观照片(箭头所示为管端)



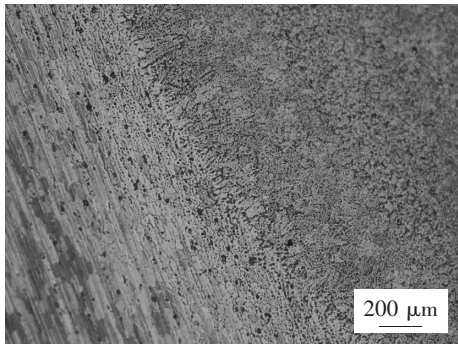
(b) 母材



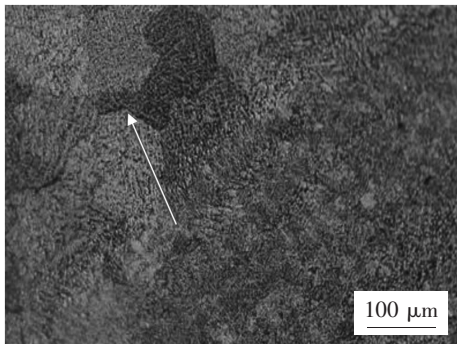
(c) 焊缝



(d) 热影响区



(e) 熔合区



(f) 熔合区沿晶开裂的微裂纹(箭头所示)

图 5 3 号试件金相组织形貌

相分析试件宏观照片,参考 Al-Mg 金相图片可见:母材组织为晶粒沿轧制方向延长呈纤维状, α (Al)基体上分布着时效过程中析出的 Mg_2Al_3 强化相;焊缝区的显微组织变化并不大,主要为 α (Al)相基体和其上分布着的部分析出的 β (Mg_2Al_3)相,焊接热影响区组织为晶粒沿轧制方向延长呈纤维状, α (Al)基体上分布着时效过程中析出的 Mg_2Al_3 强化相;在熔合区存在沿晶开裂的微裂纹,如图 5f 所示。该微裂纹由于热输入较大而产生的液化裂纹所致^[4]。

2 分析和讨论

影响焊接裂纹的因素一般为母材成分、焊接热输入、接头拘束条件等。因此对 1 号和 2 号试样进行了化学成分和抗拉强度测试,测试结果均符合国家相关标准要求,故排除由于上框架母材不合格导致的焊接裂纹。

对 1 号和 2 号试样的断口进行宏观和微观分析,二者断口大部分区域呈现沿晶开裂现象,且存在大量二次沿晶开裂现象,并伴有过烧特征,少部分区域出现韧窝断裂特征。

对 3 号试样的焊缝、熔合区、热影响区及母材进行金相组织分析,焊缝和母材金相组织主要为 α (Al)相基体以及 α (Al)基体上分布着时效过程中析出的 Mg_2Al_3 强化相,组织未见异常。接头熔合区出现微裂纹,为沿晶开裂的液化裂纹,该裂纹的出现一般在接头过热且接头具备一定的拘束度时发生。热影响区的金相组织主要为晶粒沿轧制方向延长呈纤维状, α (Al)基体上分布着时效过程中析出的 Mg_2Al_3 强化相。

与黑色金属不同的是,铝合金焊接接头很少出现冷裂纹,铝合金焊接裂纹性质属于热裂纹,有两种形式:一种是结晶裂纹(凝固裂纹),另一种是液化裂纹。前者往往出现在焊缝中,后者多出现在母材近缝区或者多层焊前层焊的热影响区。在大多数 5XXX 系铝合金中,Mg 的含量为 5%,其热裂敏感性要优于 6XXX 系铝合金。由于 α (Al)晶界处存在 β (Mg_2Al_3)相, α (Al)和 β (Mg_2Al_3)相属于低熔点共晶组分,熔点仅为 450 °C,当焊接热输入过大时,易产生晶界熔化,形成液化裂纹。综合以上技术手段分析认为,上框架在上交叉管靠近管端部焊接接头裂纹的原因主要是由于产品在试制过程中焊接热输入过大导致该部位过热,在接头的熔合区,尤其是焊趾部位产生了沿晶开裂的液化裂纹。由于焊接图纸尺寸要求,上交叉管

端部距离角焊缝太近(初始设计图纸二者组对尺寸为 5 mm),在此情况下,上交叉管端部散热困难,因此该部位存在过热倾向。此外,上框架在焊接试制过程中采用了单道焊达到图纸设计焊角厚度要求,因此焊缝在凝固时产生的收缩应力增加了该部位出现液化裂纹的倾向。

3 裂纹产生原因

根据以上分析结果,认为受流装置上框架焊接接头出现裂纹主要由于以下两方面原因造成:

(1)试制过程中采用单道焊的焊缝形式增加了接头的焊接热输入和焊缝收缩应力,使得焊趾和熔合区产生液化裂纹,在焊缝收缩应力的作用下,部分裂纹放大,这是发生该裂纹的内因。

(2)上交叉管端部与焊缝组对距离过近,使得管端部热影响区过热严重,在焊缝应力的作用下发生裂纹。

4 改进措施

(1)在保证焊接接头熔合性和焊缝规格的基础上,降低焊接热输入,改单道焊为双道焊;焊接电流保持不变,焊接平均速度由原来的 4 mm/s 改为 6 mm/s。

(2)在保证焊接结构应力和上框架整体刚度满足技术要求的前提下,适当增加上框架上交叉管端部与纵支柱的组对尺寸,由此前的 5 mm 更改为 9 mm,降低端部热影响区部位产生热裂纹的敏感性。

(3)在上交叉管端部夹持紫铜板加快该部位的散热。

参 考 文 献

- [1] 孙福娟,魏华凯. Al-5Mg-0.3Sc 激光焊接技术[J]. 焊接学报, 2009,30(3):10-12.
- [2] 于金朋,张立明,张卫华,等. 多次补焊对高速列车铝合金焊接接头的影响[J]. 焊接学报,2012,33(11):77-82.
- [3] 纪艳卿. 焊丝用 5356 铝合金制备工艺的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学硕士学位论文,2010.
- [4] 周万盛,姚君山. 铝及铝合金的焊接[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

作者简介: 符建民,1981 年生,硕士,工程师。主要从事轨道交通电气部件设计。