

本文参考文献引用格式:陈晓霞,李充,吴昊,等.氧化膜对6005A-T6铝合金双轴肩搅拌摩擦焊接头性能的影响[J].电焊机,2018,48(03):267-270.

氧化膜对6005A-T6铝合金双轴肩 搅拌摩擦焊接头性能的影响

陈晓霞,李充,吴昊,范东宇,马永志
(中车唐山机车车辆有限公司,河北唐山063035)

摘要:通过拉伸试验、弯曲试验和金相组织分析,研究氧化膜对6005A-T6铝合金双轴肩搅拌摩擦焊接头性能的影响。在不进行表面氧化膜处理的情况下,接头中会产生“C”形S线,接头抗拉强度184.3 MPa,为母材强度的72.2%,弯曲不合格;在进行表面氧化膜处理的情况下,接头中不存在明显的S线,接头分为焊核区(WNZ)、热机影响区(TMAZ)、热影响区(HAZ)和母材(BM),接头抗拉强度219.3 MPa,为母材强度的86%,弯曲合格。

关键词:双轴肩搅拌摩擦焊;6005A-T6铝合金;氧化膜;接头性能;微观组织

中图分类号: TG406 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2303(2018)03-0267-04

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2018.03.52

Influence of oxide film on the performance of 6005A-T6 aluminum alloy BT-FSW joints

CHEN Xiaoxia, LI Chong, WU Hao, FAN Dongyu, MA Yongzhi
(CRRC Tangshan Co., Ltd., Tangshan 063035, China)

Abstract: This paper studies the influence of oxide film on the performance of 6005A-T6 aluminum alloy BT-FSW joints through the analysis of tensile test, bending test and microstructure. Without removing off oxidation film, the joint produces the C-shaped S line. The tensile strength of the joint is 184.3 MPa, 72.2% of the strength of the parent material. The bending of the joint is not qualified. With removing off oxidation film, the joint does not show an obvious S line. The joint is divided into WNZ, TMAZ, HAZ and BM. The tensile strength of the joint is 219.3 MPa, 86% of the strength of the parent material. The bending of the joint is qualified.

Key words: BT-FSW; 6005A-T6 aluminum alloy; oxidation; mechanical property; microstructure

0 前言

搅拌摩擦焊(Friction Stir Welding, FSW)是一种固相连接技术,具有无烟雾、弧光、飞溅,无需填丝和保护气等优点,且易于操作、自动化程度高、连接质量好^[1],正在大步取代传统铝合金的熔焊方法,使得铝合金结构的制造与铝型材加工领域迎来革命性的跨越式发展^[2]。尽管如此,FSW仍存在难以实现空间无支撑结构的焊接、接头根部易产生未焊透缺陷的缺点。双轴肩搅拌摩擦焊(Bobbin Tool FSW,

BT-FSW)是FSW的一个重要变体,其下轴肩取代FSW的背部垫板,使FSW技术能够成功应用于中空及空间无支撑结构的焊接^[3-4],同时双轴肩的作用彻底避免根部缺陷的发生,已经大量应用于高铁行业^[5]。在此以高速列车用6005A-T6铝合金为研究对象,揭示氧化膜对BT-FSW接头组织性能的影响,为双轴肩搅拌摩擦焊的工程应用提供理论基础及技术指导。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为6005A-T6型材,属于铝镁硅6系

收稿日期:2018-02-20

作者简介:陈晓霞(1986—),女,学士,主要从事铝合金焊接技术的研究。E-mail: chenxiaoxia@tangche.com。

可热处理强化铝合金,化学成分及力学性能如表 1 所示。

表 1 6005A-T6 铝合金化学成分及力学性能

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of 6005A-T6 aluminum alloy

化学成分/%								力学性能		
w(Si)	w(Fe)	w(Cu)	w(Mn)	w(Mg)	w(Cr)	w(Zn)	w(Ti)	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A/\%$
0.62	0.19	<0.07	<0.15	0.54	0.01	<0.02	<0.01	≥ 215	≥ 255	≥ 6

6005A-T6 铝合金的微观组织特征如图 1 所示。经过轧制后,母材晶粒呈长条状,晶粒取向具有很强的方向性,强化相在轧制过程中被破碎并呈不规则弥散分布于基体各个晶粒之间。

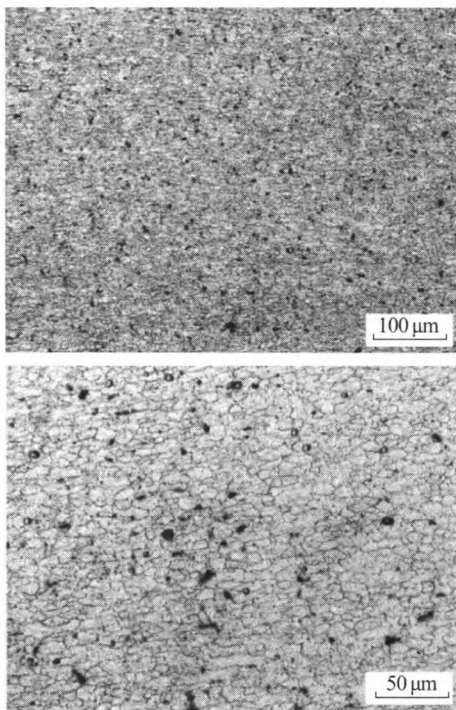


图 1 6005A-T6 铝合金微观组织

Fig.1 Microstructure of 6005A-T6 aluminum alloy

1.2 试验方法

试板尺寸为 700 mm×300 mm×5 mm,焊接坡口装配见图 2,焊缝形式为 5I。组装间隙小于 0.2 mm,焊接参数为转速 600 r/min、焊速 600 mm/min。

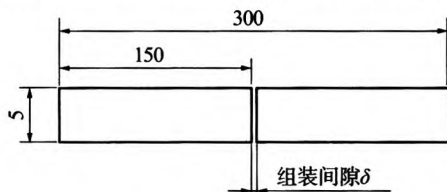


图 2 搅拌摩擦焊坡口装配

Fig.2 FSW assembly

双轴肩搅拌头为凸面带螺纹的轴肩配合柱状搅拌针,上轴肩直径分别为 23 mm、20 mm,轴肩间

隙 4.8 mm,焊接试验在动龙门式搅拌摩擦焊设备上进行。焊接试板的焊前准备分别为两种状态:一种为焊前经过机械打磨后用有机溶剂擦拭,去除表面氧化膜及油污;一种为用有机溶剂擦拭,去除表面油污,不对表面氧化膜进行处理。两种试板采用相同工艺参数进行焊接,以研究氧化膜对接头组织和性能的影响。

2 试验结果及讨论

2.1 拉伸性能

按照国家标准 GB/T2651-2008 焊接接头拉伸试验方法,采用电火花数控切割机将焊接接头切成标准试件。在 INSTRON5569 电子万能材料试验机上进行常温拉伸测试,拉伸速度 1 mm/min,焊接接头拉伸试验结果如表 2 所示。不去除氧化膜的抗拉强度平均值为 184.3 MPa,断裂位置在焊缝中间;去除氧化膜后的抗拉强度平均值达到 219.3 MPa,拉伸试件断裂位置在焊缝的热影响区(HAZ)。

表 2 拉伸试验结果

Table 2 Result of tensile test

处理方法	试件编号	抗拉强度 R_m/MPa	平均值 /MPa	断裂位置
不 去 除 氧 化 膜	2-1	186		焊缝中间
	2-2	189	184.3	焊缝中间
	2-3	178		焊缝中间
去 除 氧 化 膜	1-1	218		HAZ
	1-2	217	219.3	HAZ
	1-3	223		HAZ

不去除氧化膜得到的接头拉伸试样如图 3 所示。由图 3 可知,接头在拉伸过程中裂纹沿焊缝中间位置发生起裂和扩展,最终导致试样失效。在不去除氧化膜的前提下,接头强度 184.3 MPa,为母材强度的 72.2%。

去除氧化膜得到的接头拉伸试样如图 4 所示。由图 4 可知,拉伸断裂发生在焊接前进侧热机影响区和热影响区过渡区域,断裂路径与板材表面成 45° 角。在去除氧化膜的前提下,接头强度 219.3 MPa,为

母材强度的 86%。

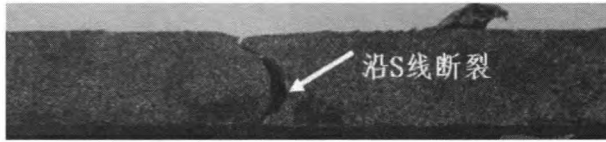


图 3 不去除氧化膜的接头拉伸试样

Fig.3 Tensile sample without wiping off oxidation film

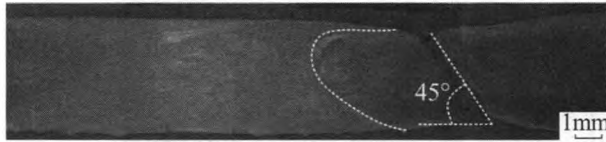


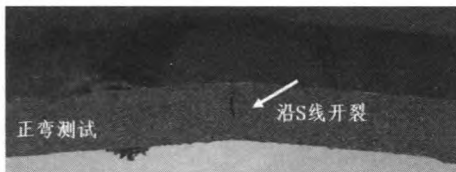
图 4 去除氧化膜的接头拉伸试样

Fig.4 Tensile sample with wiping off oxidation film

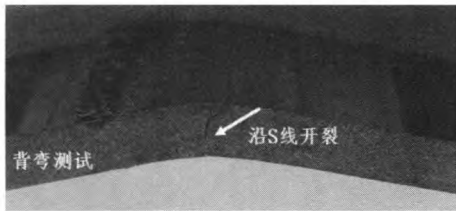
2.2 弯曲性能

垂直于焊缝方向截取试样,机械加工后,焊缝中心线应位于试样长度中心。本试验采用接头的横向正弯(焊缝上表面承受拉应力)180°和横向背弯(焊缝下表面受拉应力)180°的方式,常温条件下在 INSTRON5569 电子万能材料试验机上进行,弯曲跨距 60 mm,加载速度 5 mm/min。

不去除氧化膜得到的接头弯曲试样如图 5 所示。由图 5 可知,在正弯和背弯测试中,在弯曲角度很小时试样即发生断裂,且都是沿着 S 线发生,弯曲不合格。这说明不去除氧化膜得到的双轴肩搅拌摩擦焊接头中 S 线处虽无明显的体积型缺陷,但实际上 S 线两侧金属结合并不紧密,S 线是接头的承载能力最弱处。



a 正弯测试

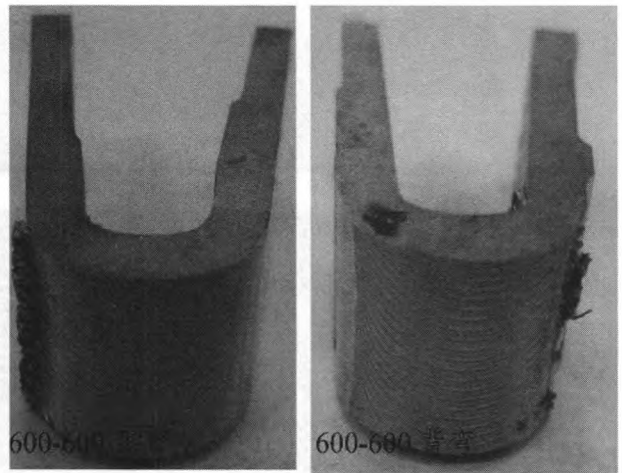


b 背弯测试

图 5 不去除氧化膜的接头弯曲试样

Fig.5 Bending sample without wiping off oxidation film

去除氧化膜得到的接头弯曲试样如图 6 所示。由图 6 可知,去除氧化膜得到的接头的正反弯曲测试结果均未发生开裂,弯曲合格。



a 正弯测试

b 背弯测试

图 6 去除氧化膜的接头弯曲试样

Fig.6 Bending sample with wiping off oxidation film

2.3 微观组织

不去除氧化膜得到的接头微观组织如图 7 所示。由图 7 可知,焊缝中间存在一条很明显的“C”形曲线,与单轴肩搅拌摩擦焊接头微观组织中存在的 S 线形态一致,也称为 S 线。这是因为双轴肩搅拌头有上下两个轴肩,焊接过程中两个轴肩会同时对焊缝塑性金属的流动产生影响,所以形成的 S 线与单轴肩搅拌摩擦焊不一致,“C”形 S 线是双轴肩搅拌摩擦焊特有的。接头在拉伸过程中裂纹在 S 线发生并扩展,导致焊缝在中间位置发生断裂(见图 3)。

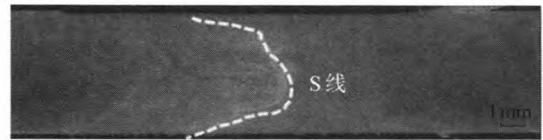


图 7 不去除氧化膜的接头微观组织

Fig.7 Microstructure without wiping off oxidation film

去除氧化膜得到的接头微观组织如图 8 所示。图 8a 为焊缝横截面宏观形貌,BT-FSW 接头分区为:焊核区(WNZ)、热机影响区(TMAZ)、热影响区(HAZ)和母材(BM)。

图 8b~图 8d 分别为焊接热影响区、热机影响区和焊核区的组织形貌。晶粒尺寸关系:HAZ>TMAZ>WNZ。HAZ 晶粒形态大小不一,呈扁平状分布;TMAZ 晶粒呈现复杂多样性,晶粒形态不规则。一般认为 WNZ 受到搅拌头强烈的摩擦和机械搅拌作用,在焊接高温和剧烈塑性变形的基础上,主要通过动态再结晶形成均匀的等轴晶组织。

由于焊前已经对表面氧化膜进行处理,在微观组织中未发现明显的 S 线,焊缝开裂发生在焊缝中

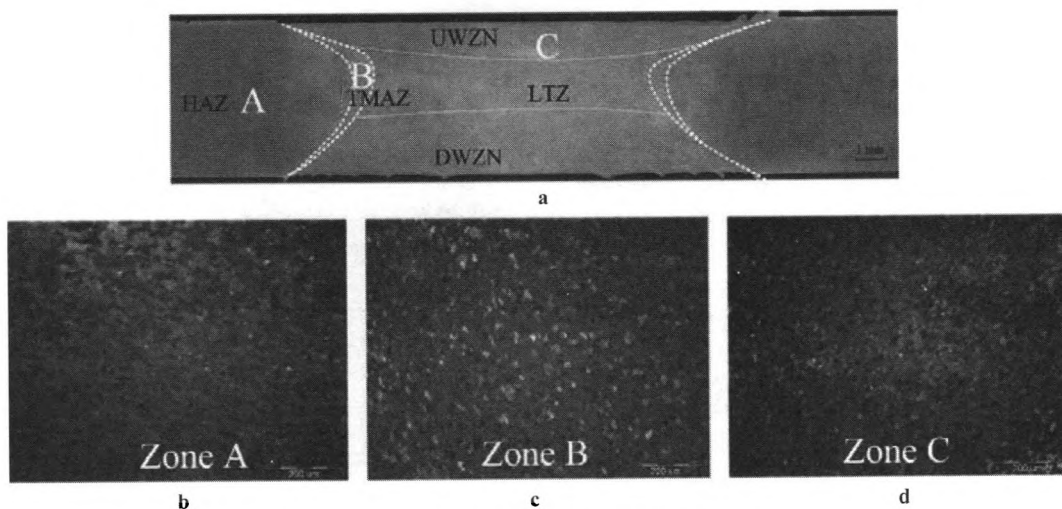


图 8 去除氧化膜的接头微观组织

Fig.8 Microstructure with wiping off oxidation film

的薄弱环节——热影响区(HAZ)。

3 结论

(1)使用 6005A-T6 铝合金研究氧化膜对接头组织及性能的影响。结果表明,在不进行表面氧化膜处理的情况下,接头抗拉强度 184.3 MPa,为母材强度的 72.2%,弯曲不合格;在进行表面氧化膜处理的情况下,接头抗拉强度 219.3 MPa,为母材强度的 86%,弯曲合格。

(2)在不进行表面氧化膜处理的情况下,接头会产生“C”形 S 线,拉伸和弯曲过程中裂纹在 S 线产生并扩展,最终导致拉伸试件在焊缝中间断裂,弯曲结果不合格。

(3)在进行表面氧化膜处理的情况下,接头中不存在明显的 S 线,接头分为焊核区(WNZ)、热机影响区(TMAZ)、热影响区(HAZ)和母材(BM),焊

缝开裂发生在焊缝中的薄弱环节——热影响区(HAZ)。

参考文献:

- [1] REN Shurong, MA Zongyi, CHEN Liqing. Research status and prospect of friction stirwelding and friction stir processing[J]. *Materials Review*, 2007, 21(1): 86-92.
- [2] 关桥. 搅拌摩擦焊——未来的连接技术[A]. 搅拌摩擦焊技术论文集[C]. 北京: 搅拌摩擦焊国际会议, 2012: 2-6.
- [3] THOMAS W M, NICHOLAS E D, NEEDHAM J C, *et al.* Improvements relating to friction welding: EP19940120385 [P]. 1995-07-05.
- [4] THOMAS W M, NICHOLAS E D, NEEDHAM J C, *et al.* Friction Stir Butt Welding: US5460317[P]. 1995-10-24.
- [5] FRATINI L, ZUCCARELLO B. An analysis of through-thickness residual stresses in aluminium FSW butt joints[J]. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006, 46(6): 611-619.