

5083-H321 铝合金板材 搅拌摩擦焊缝焊核区组织特征*

刘 洪,袁鸽成,黄泽涛,梁春朗,吴 亚,吴红辉

广东工业大学材料与能源学院,广东 广州 510006

摘 要:采用搅拌摩擦焊接法对5083-H321铝合金板材进行焊接,借助光学显微镜、扫描电镜、背散射电子衍射分析仪、显微硬度仪及取向显微成像分析技术,对焊核区及母材的组织与性能进行了对比性研究。结果表明:该合金板材的焊缝无宏观缺陷;搅拌摩擦焊使该合金板材中大量的小角度晶界转化为大角度晶界,母材和焊核区的晶粒尺寸分布范围分别为6~55 μm 和15~30 μm ,晶粒纵横比分布范围分别为2~8和1.5~3,焊核区组织呈现均匀化及等轴化的动态再结晶特征;焊缝表面硬度沿焊缝宽度方向分布不均匀,焊核区硬度略高,平均硬度接近母材硬度。

关键词:5083铝合金;搅拌摩擦焊;组织特征

中图分类号:TG457.14

文献标识码:A

搅拌摩擦焊(FSW)是一种新型固相连接技术,焊缝成形性好,无传统焊接过程中产生的裂纹及气孔等缺陷,尤其适用于常规焊接法难以焊接的铝合金等金属材料,在航空、航天、船舶、汽车等制造业中有广阔的应用前景^[1-2]。但是,在FSW过程中因材料受到挤压、锻造及剪切等复杂变形力作用,并且受强烈的摩擦热和变形热的影响^[3-4],使焊缝组织的变化过程较为复杂,虽然有关FSW铝合金材料组织与性能的研究报道不少,但大多数研究集中在工艺参数对组织与性能的影响方面,而对FSW动态再结晶过程中晶粒与晶界的变化特征少见报道^[5-8]。本文选取FSW较少涉及的5083-H321铝合金板材作为研究对象,对比性地研究焊缝各区及母材的微观组织特征,着重分析焊核区的晶粒演变行为,为了解或预测搅拌摩擦焊焊缝的微观组织提供依据。

1 试验部分

试验板材为5083-H321铝合金板材,其尺寸为

250 mm×80 mm×4 mm。首先在小型机床上沿垂直于板材轧制方向对板材进行FSW焊接,焊接速度设定为80 mm/min,搅拌转速为1000 r/min,其中搅拌头轴肩直径为22 mm,搅拌针长3.4 mm、直径约为7 mm。然后切取焊缝横截面试样若干,经磨光及机械抛光后,分别使用碱性及酸性试剂侵蚀。经处理后的试样,用数码相机拍摄其横截面低倍形貌,再利用LeicaDMI-5000M光学显微镜观察各区微观组织;用扫描电镜背散射电子衍射分析仪(EBSD)分析焊核与母材晶粒形状、尺寸及界面取向差分布图,其中取向差处于3~10°时为小角度晶界,超过10°时则为大角度晶界;用HVS-5硬度仪测定试样表面的显微硬度,以及分析硬度横向分布特征。

2 结果与分析

2.1 焊缝组织分布特征

图1为FSW焊缝横截面侵蚀后低倍形貌图。从图1可见,焊缝无宏观焊接缺陷,焊缝包含焊核区

收稿日期:2012-02-22

*基金项目:广东省重大科技专项(2008A090300004);广东省教育厅211工程学科建设项目

作者简介:刘洪(1986-),男,湖南常德人,硕士研究生。

(NZ)、热力影响区(TMAZ)和热影响区(HAZ) 三个典型区域,BM为母材区,NZ区与TMAZ区的金属塑性变形及流动迹象较明显,其中前进侧(AS)两区

界限比后退侧(RS)的明显,NZ区位于焊缝中间部位,呈现洋葱环形貌,宽度略大于搅拌针直径,且在前进侧左上方产生了材料体向上翻转流动行为,形

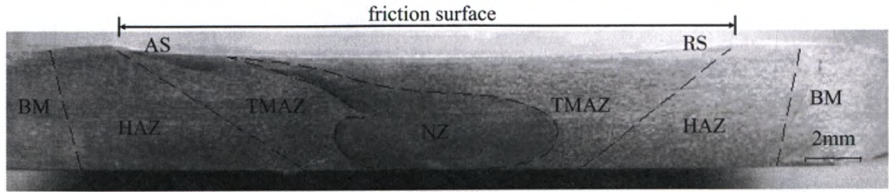


图1 5083-H321 铝合金焊缝横截面形貌

Fig.1 Cross sectional morphology of 5083-H321 aluminum alloy by friction stir welding

成了洋葱环尖特征。

2.2 焊缝各区的微观组织演变

焊缝区材料所受的变形力,主要来自于搅拌针 对材料的旋转搅拌作用以及轴肩的下压力作用,热 量主要来自于搅拌工具与工件的摩擦热及材料变 形产生的变形热,热与变形力的共同作用使焊缝区 组织产生变化。图2为母材与焊缝各区高倍组织形 貌图。从图2可见,焊缝各区晶粒特征明显不同。这

是由于焊缝各区的热与力分布不均匀,导致各区组 织呈现不同的晶粒形貌。其中母材的晶粒沿轧制方 向呈板条状(图2(a)),热作用及变形力对其组织没 有影响;焊核区晶粒为细小等轴晶(图2(b)),组织 变化较大,此区受搅拌针的直接旋转搅拌作用,变 形力及热作用对其组织影响大;图2(c)为热力影响 区组织形貌,该区晶粒较焊核区的粗大,具有明显 的流动特征;热影响区晶粒具有粗化现象(图2 (d)),由于与搅拌区距离远,变形力的作用不足以

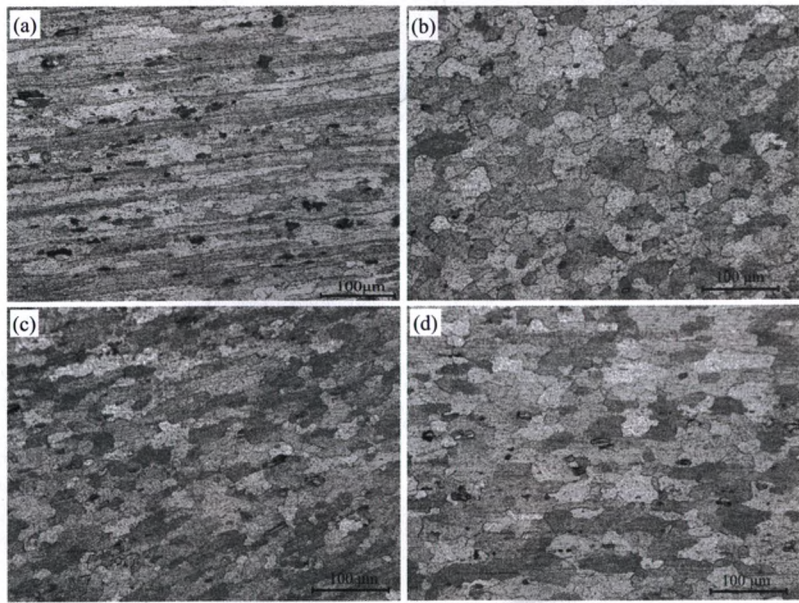


图2 母材与焊缝各区金相组织

(a)母材;(b)焊核区;(c)热力影响区;(d)热影响区

Fig.2 Metallographic structure of base metal and welding

(a)base metal;(b)nugget zone;(c)thermal-mechanical affected zone;(d)heat affected zone

使晶粒产生塑性变形,但在焊接热扩散的作用下,发生了晶粒长大的现象。

2.3 焊核区的晶粒与晶界演变

焊核区是整个焊缝区域中组织变化最大的区域,利用取向显微成像技术(OIM)对试样的EBSD测量数据进行了分析(图3)。图3(a)和图3(b)分别为母材和焊核区的EBSD图像,该区的晶粒

大小及形状产生了明显的变化,晶粒尺寸分布(图4)及晶粒纵横比分布(图5)也更清楚地显示出了晶粒的这种变化特征。通过图4发现,母材的晶粒尺寸分布范围较宽,且多数处于6~55 μm 之间,焊核区晶粒尺寸分布相对集中,多数晶粒尺寸分布范围为15~30 μm 。表明,搅拌摩擦焊能使晶粒得到明显地细化、均匀化。同时,通过图5发现,母材中大多数晶粒纵横比大于2,且分布范

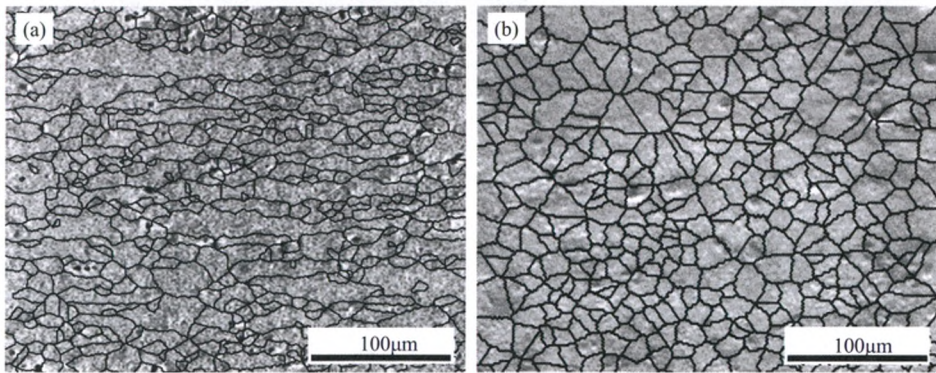


图3 EBSD图像

(a)母材;(b)焊核

Fig.3 EBSD maps

(a) base metal;(b) nugget zone

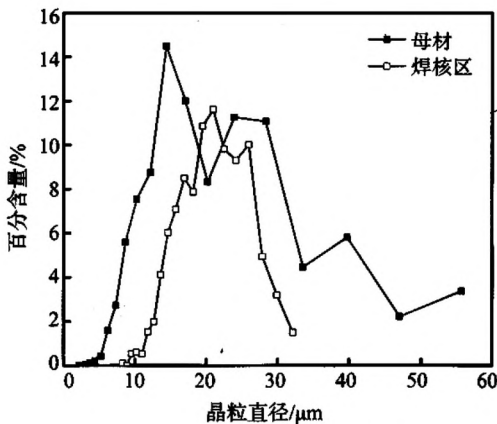


图4 母材与焊核区晶粒尺寸分布

Fig.4 Grain size distribution of base

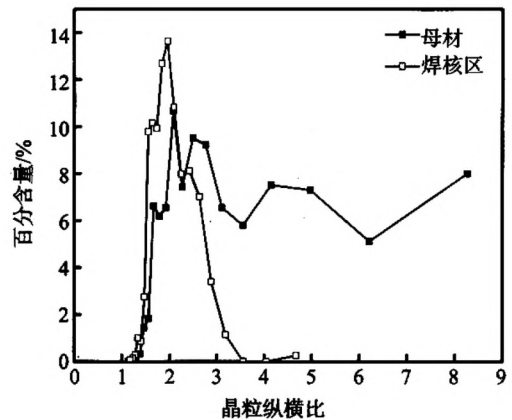


图5 母材与焊核区晶粒纵横比分布

Fig.5 Grain aspect ratio distribution of

围宽,而焊核区的晶粒纵横比分布范围窄,大多处于1.5~3范围内,说明焊核区晶粒较母材产生了明显地等轴化。

晶粒取向差分布反映了晶界特性的变化规律,图6为晶粒取向差分布图。从图6可见:母材与焊核

区大角度晶界分别占35%和64%,说明在搅拌摩擦焊作用下,母材小角度晶界转化成了大角度晶界;在10°~50°范围内,焊核区大角度晶界所占比例高于母材,而当取向差小于10°时,焊核区小角度晶界低于母材,说明了在搅拌摩擦焊接过程中晶粒发生

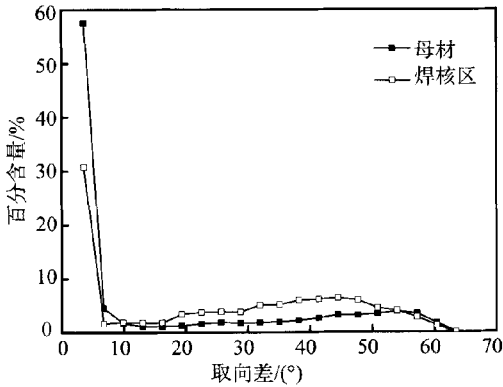


图6 母材与焊核区晶粒取向差分布

Fig.6 Grain orientation distribution of base metal and nugget zone

了动态再结晶,使小角度晶界转变成了大角度晶界,从而导致晶粒被细化;而当取向差大于50°时,无论是母材还是焊核区大角度晶界比例并未发生明显变化,说明高角度晶界并未发生明显转动。

2.4 焊缝硬度分布特征

图7为5083-H321铝合金FSW焊缝表面硬度沿焊缝横向分布图。从图7可见,母材硬度约为98 MPa,经过搅拌摩擦焊后,焊缝各区硬度出现了较小波动,波动范围约为9 MPa,焊缝平均硬度约为94 MPa,接近母材的硬度,其中在搅拌针作用区和前进侧洋葱环尖部位出现了最高硬度,这是由于这些区域属于焊核区,在焊接过程中晶粒发生了动态再结晶且生成了细小的等轴晶。

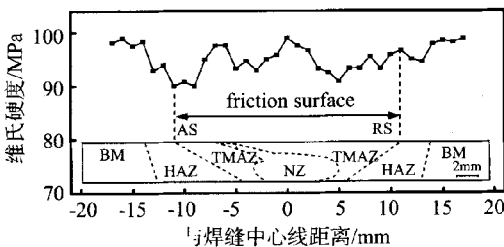


图7 5083-H321 铝合金搅拌摩擦焊缝硬度横向分布

Fig.7 The horizontal distribution of the FSW weld hardness in 5083-H321 aluminum alloy

据霍尔-佩奇公式: $\sigma_s = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$ (d 为晶粒直径),可以推测出细小的晶粒能使焊核区的强度增加。一般来说,强化后硬度亦应升高,但由于在焊接热变形过程中发生的动态再结晶降低了晶粒内位错密

度,使位错强化作用降低。综合两因素,最终致使焊核区的硬度与母材的硬度相当。其它区晶粒尺寸较大,软化占主要地位,因而硬度明显低于母材,但整个焊缝的平均硬度仍接近母材。

3 结 论

(1)5083-H321 铝合金板材经搅拌摩擦焊接后,获得了无缺陷的焊缝。焊缝成形区的组织呈现出与母材明显不同的特征,焊核区显现搅拌摩擦焊接所特有的洋葱环环貌。

(2)搅拌摩擦焊使5083-H321 铝合金板材中大量的小角度晶界转化为大角度晶界,母材和焊核区的晶粒尺寸分布范围分别为6~55 μm和15~30 μm,晶粒纵横比分布范围分别为2~8和1.5~3,焊核区呈现明显均匀化与等轴化的动态再结晶组织。

(3)焊缝表面硬度沿焊缝宽度方向分布不均匀,由于动态再结晶及晶粒等轴化细化,焊核区硬度略高,但平均硬度接近母材硬度,约为94 MPa,这种硬度分布特征与焊缝区微观组织分布不均相关。

参考文献:

[1] 曹丽杰. 铝合金搅拌摩擦焊接技术的研究进展[J]. 电子工艺技术, 2009, 30: 99-103.
[2] 曾平. 搅拌摩擦焊在船用铝合金结构中的应用[J]. 船海工程, 2010, 39: 55-57.
[3] MCNELLEY T R, SWAMINATHAN S. Recrystallization mechanisms during friction stir welding/processing of aluminum alloys[J]. Scripta Materialia, 2008, 58: 349-354.
[4] SCHMIDT H B. Thermal modelling of friction stir welding [J]. Scripta Materialia, 2008, 58: 332-337.
[5] ARORA K S, PANDEY S, SCHAPER M. Microstructure evolution during friction stir welding of aluminum alloy A2219[J]. Journal of Materials Science and Technology, 2010, 26: 747-753.
[6] 束彪, 国旭明, 张春旭. 2195 铝锂合金搅拌摩擦焊接头组织及性能[J]. 航空材料学报, 2010, 30(4): 13-15.
[7] 傅志红, 贺地求. 7A52 铝合金搅拌摩擦焊焊缝的组织分析[J]. 焊接学报, 2006, 27: 65-68.
[8] SUTTON M A, YANG B. Microstructural studies of friction stir welds in 2024-T3 aluminum[J]. Materials Science and Engineering A, 2002, 323: 160-166.

(下转第 149 页)

Defect analysis of aluminum busbar surface

XU Fen¹, LUO Shun²

1. *Token Aluminum Products Co., Ltd, Dongguan 523000, China*; 2. *Guangdong General Research Institute of Industrial Technology (Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals), Guangzhou 510650, China*

Abstract: The surface defect of a 6101 aluminum busbar was analyzed by means of macro and micro analysis. Analysis results showed that the delamination of copper and tin layers from aluminum busbar surface was due to the generation of aluminum oxide on the aluminum busbar surface, which was formed before electrical plating. The aluminum oxide between the base and electrodeposited coating resulted in the degradation of electrodeposited coating. It was proposed that the surface cleaning should be emphasized during the production process; deslagging and outgassing process on the plating solution should be executed in time; Aluminum plate should be protected carefully after electroplating.

Key words: aluminum alloy; busbar; electroplating; defect analysis

上接第117页

The microstructural characteristics of nugget zone in 5083-H321 aluminum alloy plates by friction stir welding

LIU Hong, YUAN Gecheng, HUANG Zetao, LIANG Chunlang, WU Ya, WU Honghui
Faculty of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

Abstract: The 5083-H321 aluminum alloy plate was jointed by friction stir welding. The comparative studies on the microstructure and hardness of both nugget zone and base metal were investigated using optical microscopy, scanning electron microscopy, electron back scattered diffraction and orientation imaging microscopy, and micro-hardness tester. The results showed that there were no macroscopic defects in the weld. A large number of low-angle grain boundaries were transformed into high-angle grain boundaries in the nugget zone by the technique of friction stir welding. The grain size of base metal and nugget zone was 6-55 μm and 15-30 μm , respectively, and the shape aspect ratio was 2-8 and 1.5-3, respectively. The grains in nugget zone showed homogeneous and equiaxed morphology with characteristic of dynamic recrystallization. The transverse hardness distribution of welded joint surface is not homogeneous. The hardness of nugget zone is slightly higher than others and the average hardness is close to that of base metal.

Key words: 5083 aluminum alloy; friction stir welding; microstructural characteristic