

外加磁场对 LF21 铝合金 TIG 焊焊缝组织的影响

李 军, 江淑园, 钟其林

(南昌航空大学 航空制造工程学院, 江西 南昌 330063)

摘 要: 针对 LF21 铝合金 TIG 焊接易产生气孔和热裂纹等特点, 引入与焊枪同轴的直流外加纵向磁场对 LF21 铝合金 TIG 焊接过程进行控制。以外加恒定直流纵向磁场 TIG 焊为研究对象, 通过采用金相分析和硬度分析的方法, 研究了纵向磁场 TIG 焊接 LF21 铝合金焊缝组织发生变化的规律和原因。结果表明: 在适当的磁场强度作用下, 焊缝宏观形貌成形美观; 焊缝组织获得最佳的细化效果; 焊缝中心硬度值大于无磁场强度时的硬度值, 并接近于母材硬度值。

关键词: TIG 焊; LF21; 纵向磁场; 显微组织

中图分类号: TG146.2⁺1; TG444⁺.74

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2011)01-0126-03

Influence of Applied Magnetic Field on Microstructure of Weld Seam of LF21 Aluminum Alloy by TIG Welding

LI Jun, JIANG Shuyuan, ZHONG Qilin

(Institute of Aviation Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Applied DC longitudinal magnetic field coaxial with the welding gun was introduced to control TIG welding process for LF21 aluminum alloy aiming to the thermal cracks and porosity during TIG welding process. Taking constant applied DC longitudinal magnetic field TIG welding as study object the changing patterns and the changing causes of the weld morphology of LF21 aluminum alloy were researched by metallographic and hardness analysis. The experiment results show that, under appropriate magnetic field intensity, the formation of the weld is good, and the refining effect on the microstructure of the weld is best, the hardness in the center of the weld is greater than that without magnetic field, and it is closed to the hardness of the base metal.

Key words: TIG welding; LF21; longitudinal magnetic field; microstructure

在铝合金焊接生产中常常会碰到焊缝气孔超标、焊接接头力学性能达不到标准要求、焊接变形过大和热裂纹, 以及导热系数大, 须采用能量集中的热源等问题^[1]。因此, 研究铝合金焊接问题成为推动该工程材料广泛使用最为迫切的课题。而改善焊缝金属抗裂性能, 提高焊缝强度、塑性的重要措施就是细化焊缝的晶粒组织^[2]。电磁作用焊接技术是近年来完善起来的一种新的焊接技术, 是改善焊接质量的有效方法之一^[3]。本文通过对 LF21 铝合金 TIG 焊接过程施加外加纵向磁场, 分析了磁场作用下 LF21 铝合金 TIG 焊焊缝组织, 这将对认识电磁作用焊接机理提供重要实用价值, 并加速磁控焊接技术的推广和应用。

1 实验方法

收稿日期: 2010-09-06

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目(0150040)

作者简介: 李军(1983-), 男, 江西宜春人, 硕士研究生, 主要研究方向:

焊接质量控制及电弧物理特性; 电话: 13479175290;

E-mail: lijun0620@126.com.

本实验采用 HITACHI-300GP2 交直流逆变氩弧焊机, 在规格为 200 mm × 50 mm × 3 mm 的 LF21 铝合金标准试件上进行堆焊 (仅仅为了实验研究)。焊接工艺参数为: 钨极直径 3.2 mm, 弧长 1.0~2.0 mm, 氩气流量为 ~10 L/min, 焊接电流 150 A。外加磁场发生装置为动态可调, 且励磁线圈和焊枪的轴线对中, 同时刚性固定在焊枪上。外加纵向磁场作用的焊接装置如图 1 所示。

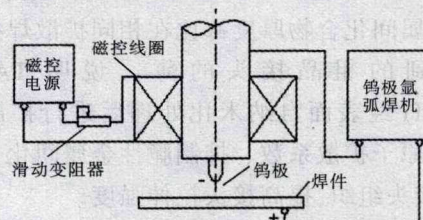


图 1 外加纵向磁场作用的焊接装置示意图
Fig.1 Schematic diagram of welding equipment with longitudinal magnetic field

焊后沿垂直焊缝方向用线切割取样, 并制作金相试样。用电子显微镜观察焊缝微观组织。在焊缝中心画一个十字, 在离十字各 0.25 mm 处用 401mVD

数显微硬度计对测量焊缝硬度,加载 50g,加载时间 10s。

2 实验结果与分析

2.1 外加纵向磁场对焊缝宏观形貌的影响

外加不同纵向磁场和不加磁场的情况下,LF21 铝合金焊缝处宏观形貌如图 2 所示。由图 2 可见,在未加磁场时,焊缝纹路不均匀,时密时疏;当磁场强度为 2mT 时,焊缝纹路间距较图 2(a)时小且比较均匀;当磁场强度为 6mT 时,焊缝纹路均匀整齐,间距比图 2(b)时的小,呈波浪式形状,焊缝表面光滑、平整,焊缝成形良好;当磁场强度为 10mT 时,焊缝纹路杂乱无章,焊缝成形变差,边缘不规则。在外加纵向磁场作用下,由于焊接电弧的旋转,熔池中的液态金属受洛伦兹力的作用,绕焊接电弧中心自旋转,对熔池起到搅拌作用,随磁场强度增强,电磁搅拌作用增强,熔池前端的液态金属被往后推,后端的液态金属被往前推,降低凝固结晶的温度梯度,使液态金属

以螺旋形的方式向前推进,从而使焊缝的纹路比较均匀。但是随着磁场强度增加的同时,相应地会在熔池凝固体系内增大了热效应,磁场对金属流的滞止力增大,产生电磁阻尼现象,抑制流体流动。因此当磁场强度大于一定范围时,电磁阻尼将会占主导地位,它抑制了熔体自然对流,从而抑制了热量的对流传输,焊缝纹路杂乱无章,反而使得焊缝成形变差。

2.2 外加纵向磁场对焊缝微观组织的影响

外加不同纵向磁场和不加磁场的情况下,LF21 铝合金焊缝处的微观组织如图 3 所示。由图 3 可见,在未加磁场时,焊接接头显微组织呈现出明显的柱状晶组织,晶粒较粗大,而且晶界有较多的共晶组织析出,晶内有少量的颗粒状共晶相沉淀析出,这种显微组织为典型的焊缝显微组织。当磁场强度为 2mT 时,焊缝晶粒有所变细,但细化程度不大,共晶组织生成的数量很多且大部分在晶界聚集,呈条状或颗粒状分布,绝大部分还处于连续状态;从焊缝向熔合区过渡时晶界上的析出物有呈明显降低的趋势。当

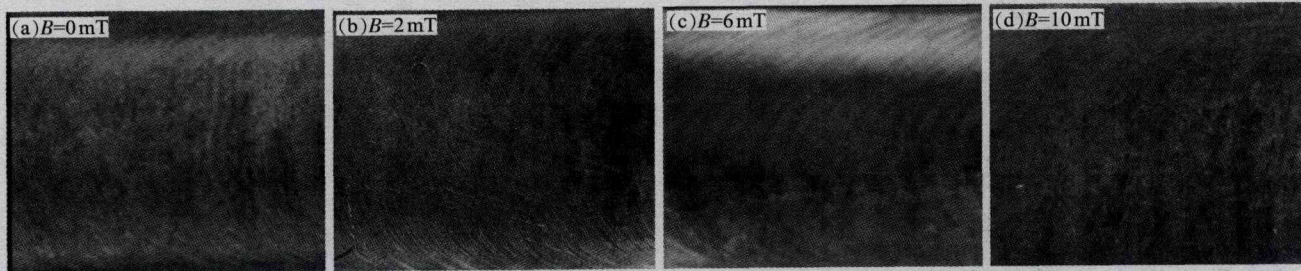


图 2 不同磁场强度下铝合金焊缝的宏观形貌
Fig.2 Macro-photograph of weld seam under different magnetic field intensity

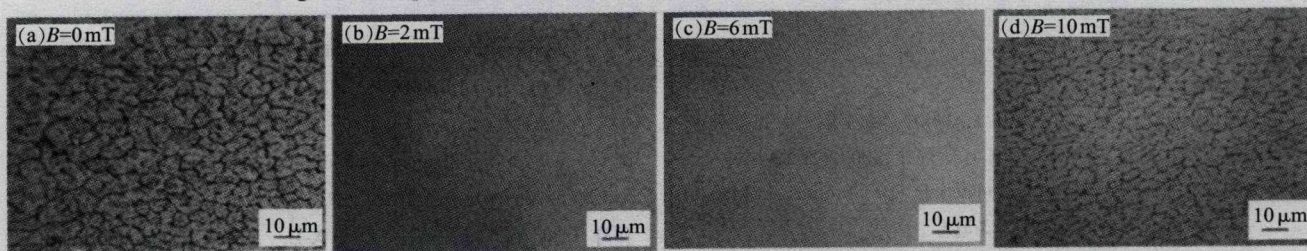


图 3 不同磁场强度下铝合金焊缝的微观组织
Fig.3 Microstructure of weld seam under different magnetic field intensity

磁场强度增大到 6mT 时,焊缝晶粒细化效果最为显著,在晶界上存在大量细小而弥散的共晶球化质点,这说明在基体达到过饱和以后,继续增大磁场强度会加强电磁搅拌对析出相的破碎效果;同时较多的共晶组织可在已凝固晶粒之间自由流动,填充了晶粒间由于应力所造成的缝隙,会降低产生结晶裂纹的倾向,即所谓“愈合”作用。磁场强度为 10mT 时,虽然其焊缝显微组织仍以等轴晶为主,但晶粒相对

粗大。在外加磁场作用于焊接时,外加磁场对焊接熔池进行电磁搅拌,而随着磁场的强度的增大,电磁搅拌作用也随之增强,从磁场带来的波动效应看,磁场强度越大,电磁压力越大,因而波动越激烈,晶粒细化效果越显著。但随着磁场强度的增加,相应地在熔池凝固体系内增大了热效应,磁场对金属流的滞止力增大,产生了电磁阻尼现象,抑制了流体流动。因此,在一定范围内的磁感应强度有助于晶粒细化,但

是当磁场强度高于此范围时,随着磁场电流的增大,电弧旋转的直径减小,磁场对熔池的搅拌作用反而不明显;而在过大的恒定磁场作用下,电磁阻尼将会占主导地位,抑制熔体自然对流,从而抑制热量的对流传输,使温度起伏减小,过冷度随之减小进而使形核率下降,晶粒变得粗大。

2.3 外加纵向磁场对焊缝显微硬度的影响

在 401mVD 数显显微硬度计上测试焊缝各表面硬度值,为减少采集误差,每个区域测三点并取其平均值,测试结果如图 4。由图可见:施加直流磁场时,焊缝硬度比未加磁场时的硬度值大,当磁场强度达到一定时,焊缝硬度最大。这是因为:0~6mT 时,磁场搅拌作用使焊缝晶粒细化效果越来越显著,硬度值越来越大;磁场强度为 6mT 时,晶粒细化效果最显著,此时硬度值最大;当磁场强度大于 6mT 时,硬度有所下降,因为在此时凝固系统内的热效应会

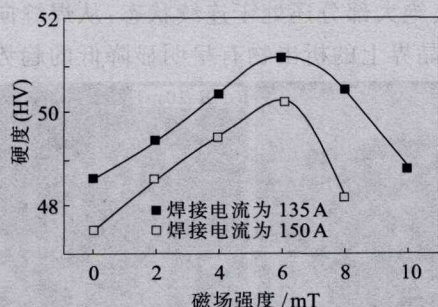


图 4 不同磁场强度下焊缝硬度关系图
Fig.4 Hardness of the weld seam under different magnetic field intensity

增加,从而使过冷度降低,进而使形核率下降,使得晶粒粗化,从而影响焊接接头的硬度值。

3 结论

(1) 无外加磁场时,焊缝外观形貌呈现不规则的纹路,纹路间距较大;施加纵向磁场后,焊缝纹路均匀整齐,纹路间距减小,焊缝成形美观;磁场强度过大时,焊缝成形变差。

(2) 在一定的焊接规范下,随着磁感应强度的增大焊缝组织晶粒先减小后增大。因此,外加磁场存在着一个最佳的磁场范围,在这个磁场范围内,焊接接头组织获得最佳的细化效果。在本实验焊接规范下,磁场强度为 6mT 时,焊缝组织的细化效果最佳。

(3) 焊接电流为 135 A、磁场强度为 6mT 时,焊缝中心硬度值达到 51.2 HV;焊接电流为 150 A、磁场强度为 6mT 时,焊缝中心硬度值达到 50.2 HV,比无外加磁场时的硬度值大,硬度接近于母材硬度值。

参考文献:

- [1] 元恒新. 焊接材料及工艺对铝合金焊接性的影响[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [2] 王学东, 张伟强, 时海芳, 等. 电磁搅拌技术的国内外发展现状[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2001, (2): 82-84.
- [3] 杨成刚, 国旭明, 洪张飞, 等. 电磁搅拌对 2219Al-Cu 合金焊缝组织及力学性能的影响 [J]. 金属学报, 2005, 41 (10): 1077-1081. [4]
- [4] 元恒新. 焊接材料及工艺对铝合金焊接性的影响[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [5] 王学东, 张伟强, 时海芳, 等. 电磁搅拌技术的国内外发展现状[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2001, (2): 82-84.
- [6] 杨成刚, 国旭明, 洪张飞, 等. 电磁搅拌对 2219Al-Cu 合金焊缝组织及力学性能的影响 [J]. 金属学报, 2005, 41 (10): 1077-1081. [4]
- [7] 元恒新. 焊接材料及工艺对铝合金焊接性的影响[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [8] 王学东, 张伟强, 时海芳, 等. 电磁搅拌技术的国内外发展现状[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2001, (2): 82-84.
- [9] 杨成刚, 国旭明, 洪张飞, 等. 电磁搅拌对 2219Al-Cu 合金焊缝组织及力学性能的影响 [J]. 金属学报, 2005, 41 (10): 1077-1081. [4]
- [10] 元恒新. 焊接材料及工艺对铝合金焊接性的影响[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [11] 王学东, 张伟强, 时海芳, 等. 电磁搅拌技术的国内外发展现状[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2001, (2): 82-84.
- [12] 杨成刚, 国旭明, 洪张飞, 等. 电磁搅拌对 2219Al-Cu 合金焊缝组织及力学性能的影响 [J]. 金属学报, 2005, 41 (10): 1077-1081. [4]
- [13] 元恒新. 焊接材料及工艺对铝合金焊接性的影响[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [14] 王学东, 张伟强, 时海芳, 等. 电磁搅拌技术的国内外发展现状[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2001, (2): 82-84.
- [15] 杨成刚, 国旭明, 洪张飞, 等. 电磁搅拌对 2219Al-Cu 合金焊缝组织及力学性能的影响 [J]. 金属学报, 2005, 41 (10): 1077-1081. [4]
- [16] 何鹏, 冯吉才, 韩杰才, 等. TiAl/V/Cu/40Cr 钢扩散焊接界面组织结构对接头强度的影响[J]. 焊接, 2002, (7): 12-14.
- [17] Gleiter H. Nanocrystalline materials [J]. Progress in Materials Science, 1989, 33(4): 223-315.
- [18] Lu k. Nanocrystalline materials crystallized from amorphous solids: Nanocrystallization, structure, and properties[J]. Materials Science & Engineering R: Reports, 1996, 16 (4): 161-221.
- [19] Schumacher S, Birringer R, Strauss R, et al. Diffusion of silver in nanocrystalline copper between 303 and 373 K[J]. Acta Metal., 1989, 37(9): 2485-2488.
- [20] Lu L, Sui M L, Lu K. Superplastic extensibility of nanocrystalline copper at room temperature [J]. Science, 2000, 287 (2): 1463-1466.
- [21] Wang Z B, Lu J, Lu K. Chromizing behaviors of a low carbon steel processed by means of surface mechanical attrition treatment[J]. Acta Materialia, 2005, 53(7): 2081-2089.
- [22] Tong W P, Tao N R, Wang Z B, et al. Nitriding iron and 38CrMoAl steel with a nanostructured surface layer [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Science, 2005, 22(2): 230-238.
- [23] Han J, Sheng G M, Zhou X L. Diffusion bonding of surface self-nanocrystallized Ti-4Al-2V and 0Cr18Ni9Ti by means of high energy shot peening[J]. ISIJ International, 2008, 48(9): 1238-1245.
- [24] Han J, Sheng G M, Zhou X L, et al. Pulse pressuring diffusion bonding of Ti-4Al-2V/ 0Cr18Ni9Ti with nanostructured layer synthesized by surface self-nanocrystallization [J]. ISIJ International, 2009, 49(8): 1200-1205.
- [25] Han J, Sheng G M, Zhou X L, et al. Pulse pressuring diffusion bonding of Ti alloy/ austenite stainless steel processed by surface self-nanocrystallization [J]. ISIJ International. 2009, 49(1): 86-91. [4]

(上接第 125 页)

焊接, 1997, (2): 2-6.