

不同焊接工艺下 2219 铝合金 TIG 焊接接头性能分析

韩国良, 王惠苗, 刘含伟, 王亚森, 宋建岭
(天津航天长征火箭制造有限公司, 天津 300462)

摘要: 针对 2219 铝合金的对接 TIG 焊, 采用单面两层焊和两面三层焊的工艺方法开展了对比试验, 分析了焊接接头形貌和组织性能。研究表明, 两种工艺方法均可以获得良好的焊缝成形, 力学性能满足结构设计要求; 两面三层焊比单面两层焊的焊接接头抗拉强度和断后伸长率的平均值分别提高了 1.7% 和 33.3%, 抗拉强度基本相同, 断后伸长率得到了大幅提升; 相比于单面两层焊, 两面三层焊的背部封底焊接增加了背部焊缝宽度, 背部熔合线的形状以及与水平方向的夹角都发生了变化; 两种工艺方法的焊接接头各区域组织特点鲜明, 相同区域的微观形貌相差不大; 在焊缝背部相同位置, 两种工艺方法的硬度值曲线走向趋势相同, 封底焊增大了过时效软化区的宽度, 提高了焊接接头的断后伸长率。

关键词: 2219 铝合金; 钨极惰性气体保护焊; 焊缝成形; 组织性能
中图分类号: TG407

0 前言

随着国内航天技术的快速发展, 新一代运载火箭的研制已进入关键阶段, 火箭燃料贮箱主体结构材料为 2219 铝合金, 属于 Al-Cu-Mn 系高强度铝合金, 具有低温和高温力学性能好、断裂韧度高、抗应力腐蚀性能好等特点^[1-6]。该材料 4~10 mm 的对接焊可采用单面两层焊和两面三层焊的不同工艺方法, 但国内对于其焊接性能研究较少^[7-12]。因此, 文中采用以上两种工艺方法进行焊接试验, 对焊接接头的力学性能和组

织特点进行研究和分析, 总结两种工艺方法的异同点, 对 2219 铝合金焊接的进一步研究具有重要意义。

1 试验材料及方法

该试验采用 C10S 状态的 2219 铝合金试板, 尺寸 300 mm × 150 mm × 8 mm, 主要化学成分见表 1, 焊丝选用的牌号为 2325。焊接系统由 Dynasty700 脉冲变极性钨极氩弧焊机、十字横梁移动装置、焊接控制台、试板装配压紧平台组成, 焊接保护气体为高纯氩气和高纯氮气, 焊接方法为 TIG 自动焊。

表 1 2219 铝合金的化学成分(质量分数, %)

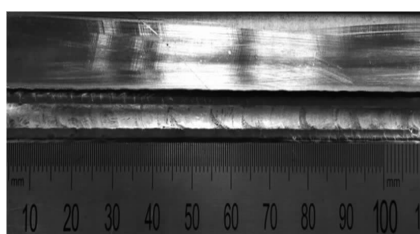
Cu	Mn	Ti	Mg	Zr	V	Fe	Si	Al
5.8~6.8	0.2~0.4	0.02~0.1	0.2	0.1~0.25	0.05~0.15	0.3	0.2	余量

焊接试验共分两步进行, 第一步将若干组试板装配在焊接平台上呈对接焊姿态, 调整试板位置, 保证间隙和错缝满足焊接要求。调整焊接电流、焊接速度、保护气体流量等主要参数, 进行直流 TIG 氩弧悬空打底焊, 以焊缝成形良好为标准, 筛除焊缝成形差的试板, 只保留正面焊缝亮带均匀, 背部焊漏饱满一致的试板, 如图 1 所示。调整焊接电流、送丝速度、焊接速度、保

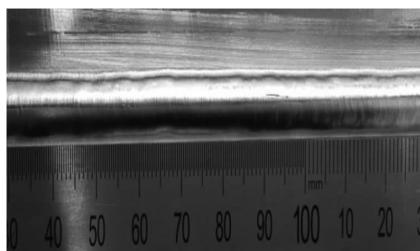
护气流量等主要参数, 对打底焊缝成形良好的若干组试板进行交流 TIG 氩弧盖面焊, 同样以焊缝成形良好为标准, 筛除焊缝成形差的试板, 只保留正面焊缝饱满, 鱼鳞纹均匀一致的试板, 如图 2 所示, 完成单面两层焊的试板焊接。

试验第二步选取上述打底焊缝成形良好的试板若干对, 铣平背部焊漏至与母材齐平, 调节焊接参数, 在背部进行交流 TIG 氩弧封底焊, 保留焊缝饱满, 鱼鳞纹均匀一致的试板, 如图 3 所示, 完成两面三层焊的试板焊接。

收稿日期: 2018-12-25
doi: 10.12073/j.hj.20181225006



(a) 正面形貌



(b) 背面形貌

图1 打底焊缝

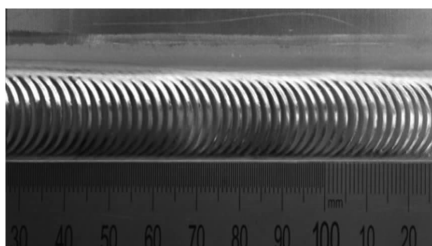
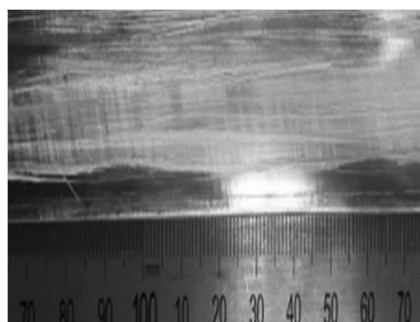
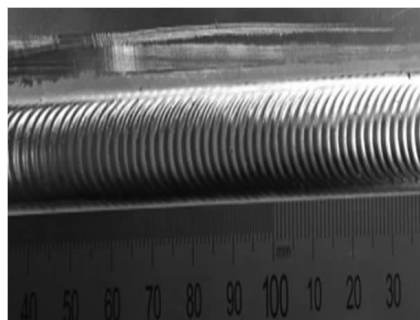


图2 盖面焊缝正面形貌



(a) 背部焊漏铣平后形貌



(b) 背部封底后焊缝形貌

图3 封底焊接

2 力学性能和金相组织分析

将两种工艺方法焊后成形良好的试板按照图4进行试样加工,保留焊缝余高和焊漏,单面两层焊的试样编号为1~12,两面三层焊的试样编号为13~24,对试样进行拉伸试验,试验方法采用GB/T 228—1987,得出试样的抗拉强度值、断后伸长率和断裂位置,统计于表2和表3中。

由拉伸试验结果可知,单面两层焊的试样抗拉强度平均值为294 MPa,断后伸长率平均值为5.1%,断裂位置均为熔合线;两面三层焊的试样抗拉强度平均值为299 MPa,断后伸长率平均值为6.8%,断裂位置有熔合线和热影响区两种情况,如图5a,5b所示。由结果分析可知,两种工艺方法均能满足结构设计要求,两面三层焊比单面两层焊的焊接接头抗拉强度和断后

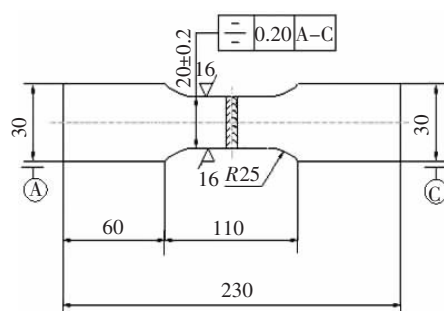


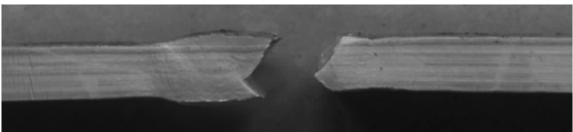
图4 拉伸试验试样加工图

表2 单面两层焊缝力学性能统计

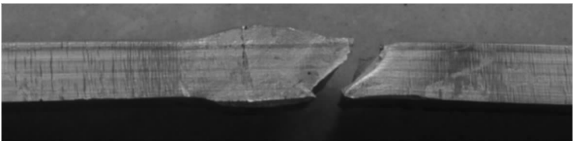
试样 编号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断裂 位置
1	300	4.5	熔合线
2	290	5.0	熔合线
3	290	6.0	熔合线
4	300	5.0	熔合线
5	290	6.0	熔合线
6	290	5.0	熔合线
7	295	4.5	熔合线
8	295	5.0	熔合线
9	300	4.5	熔合线
10	290	5.0	熔合线
11	295	5.5	熔合线
12	290	5.0	熔合线

表 3 两面三层焊焊缝力学性能统计

试样 编号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A (%)	断裂 位置
13	300	6.5	热影响区
14	295	7.0	熔合线
15	295	7.0	热影响区
16	295	6.5	熔合线
17	305	7.0	热影响区
18	300	6.5	热影响区
19	300	7.0	熔合线
20	300	7.0	熔合线
21	295	6.5	热影响区
22	305	6.5	熔合线
23	295	7.0	热影响区
24	300	7.5	熔合线



(a) 试样断裂于熔合线



(b) 试样断裂于热影响区

图 5 试样断裂位置

伸长率的平均值分别提高了 1.7% 和 33.3% ,抗拉强度基本相同,断后伸长率得到了大幅提升。

选取典型的单面两层焊和两面三层焊的焊接接头进行切割取样,使用显微镜观察接头的宏观形貌,单面两层焊接头分为盖面焊缝、打底焊缝、热影响区和母材区,如图 6 所示。两面三层焊接头分为盖面焊缝、背面封底焊缝、热影响区和母材区,如图 7 所示。结合图 8 的两面三层焊示意图可知,在接头宏观形貌中,背面封底焊缝覆盖了原有的大部分打底焊缝,增加了背部焊缝宽度,背部熔合线的形状以及与水平方向的夹角都发生了变化。

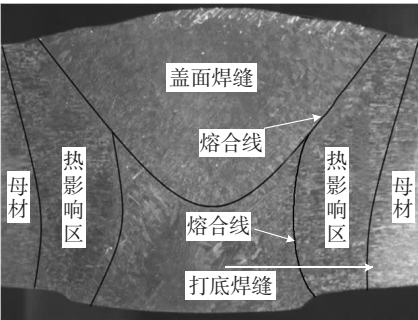


图 6 单面两层焊焊缝宏观形貌

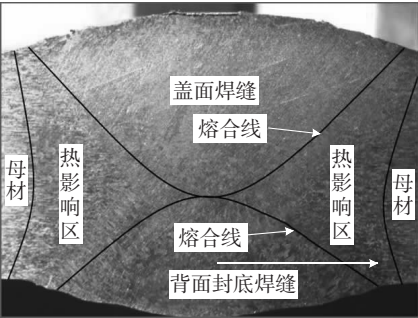


图 7 两面三层焊焊缝宏观形貌

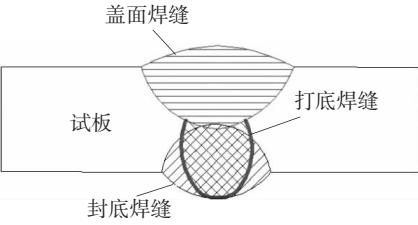


图 8 两面三层焊示意图

分别选取图 6 打底焊缝和图 7 封底焊缝金相件熔合线处的微观组织进行观察,如图 9、图 10 所示,焊缝区为柱状支晶和等轴晶,具有铸造组织特征;熔合区分为半熔化区和未混合区,存在严重的组织形态不均匀性;热影响区受焊接热循环影响,形成了在组织上互不相同的若干小区,各区域组织特点鲜明,相同区域的微观形貌相差不大。

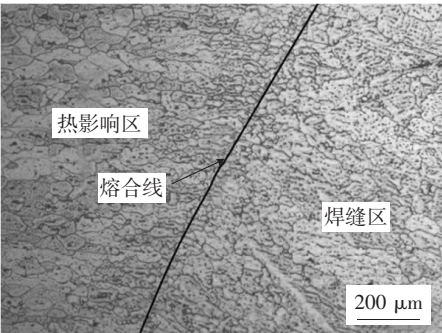


图 9 打底焊缝熔合线附近微观组织

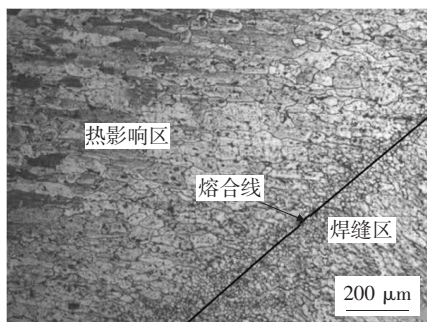


图10 封底焊缝熔合线附近微观组织

分别选取了图6和图7金相件背部两个相同位置的组织,按照箭头方向由焊缝中心向母材方向做显微硬度HV0.2测试,测试范围覆盖焊缝区、热影响区和母材区,其中热影响区包括淬火粗晶区和过时效软化区。测试结果如图11所示,两种工艺方法的硬度值曲线走向趋势相同,均是在焊缝区最低,到熔合线后迅速升高,在淬火粗晶区达到一个高值后,进入过时效软化区再下降,最后升高到母材区。两面三层焊增加的封底焊接增大了过时效软化区的宽度,从而提高了焊接接头的断后伸长率。

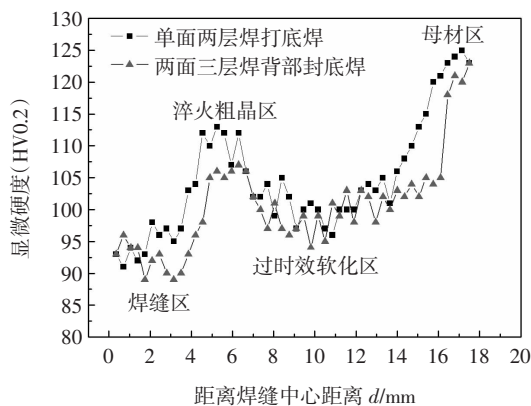


图11 显微硬度测试结果

3 结论

(1)2219 铝合金对接焊在相同的试验条件下,单面两层焊和两面三层焊的工艺方法均能获得良好的焊缝成形,力学性能满足结构设计的要求,两面三层焊比单面两层焊的焊接接头抗拉强度和断后伸长率的平均值分别提高了1.7%和33.3%,抗拉强度基本相同,断后伸长率得到了大幅提升。

(2)相比于单面两层焊,两面三层焊的背部封底焊接增加了背部焊缝宽度,背部熔合线的形状以及与水平方向的夹角都发生了变化。

(3)两种工艺方法的焊接接头各区域组织特点鲜明,相同区域的微观形貌相差不大。

(4)在焊缝背部相同位置,两种工艺方法的硬度值曲线走向趋势相同,均是在焊缝区最低,到熔合线后迅速升高,在淬火粗晶区达到一个高值后,进入过时效软化区再下降,最后升高到母材区。两面三层焊增加的封底焊接增大了过时效软化区的宽度,从而提高了焊接接头的断后伸长率。

参考文献

- [1] 陈国庆,柳峻鹏,树西,等. 铝合金焊接工艺的研究进展[J]. 焊接, 2017(9): 7-12.
- [2] 张勤练,李钊,杨春利,等. 铝合金TIG电弧横焊接头缺陷及控制[J]. 焊接学报, 2017, 38(2): 28-32.
- [3] 栗慧,邹家生,姚君山,等. 2219 高强铝合金活性TIG焊工艺[J]. 材料工程, 2018, 46(4): 66-73.
- [4] 孙茂龄,宋昌洪,吉荣亮,等. TIG-MIG复合焊研究现状与展望[J]. 焊接, 2016(12): 33-36.
- [5] 王健存,曲文卿,牟国倩,等. LD10 铝合金活性TIG焊接接头的组织与力学性能[J]. 热加工工艺, 2017, 41(1): 81-84.
- [6] 刘自刚,瞿怀宇,曹瑞昌,等. DP-TIG焊接方法工艺研究[J]. 焊接, 2017(3): 61-65.
- [7] 朱春沅,李恒,黄超群,等. 2219 铝合金焊接残余应力分布分析[J]. 焊接学报, 2017, 38(11): 32-36.
- [8] 石康柠,汪殿龙,梁志敏,等. 余高去除对铝合金TIG焊接接头残余应力的影响[J]. 焊接, 2017(5): 10-13.
- [9] 邓利芬,李庆庆,韩国良,等. 高频感应加热处理对2219 铝合金TIG焊接接头残余应力的影响[J]. 焊接, 2017(6): 51-54.
- [10] 常超,张柱,林金保,等. 铝合金5083焊接试样微观力学测试分析[J]. 现代制造技术与装备, 2018(3): 157-159.
- [11] Wang G Q, Zhao Y H, Zhang L N, et al. A new weld repair technique for friction stir welded aluminum structure: inertia friction pull plug welding[J]. China Welding, 2017, 26(4): 56-64.
- [12] Lei Z, Li X Y, Xu F J, et al. Laser-pulsed MIG hybrid welding technology of A6N01S aluminum alloy[J]. China Welding, 2017, 26(4): 10-19.

第一作者简介: 韩国良,1986年出生,工学硕士,工程师;主要从事铝合金焊接、新一代运载火箭贮箱研制等工作。