

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

邓利芬¹ 李庆庆¹ 韩国良¹ 肖 宏¹ 李伟力²

(1. 天津航天长征火箭制造有限公司, 天津 300462; 2. 哈尔滨工业大学 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要 采用变极性 TIG 焊接方法焊接 8 mm 厚 2219 铝合金板材, 利用高频感应加热技术对焊接接头分别进行 90 ℃, 140 ℃, 190 ℃ 的热处理。热处理前、后采用 X 射线衍射法测试 2219 铝合金 TIG 焊接接头残余应力, 分析了接头的微观组织与力学性能。结果表明, 经 140 ℃, 190 ℃ 热处理后, 焊接残余应力下降趋势明显, 经 90 ℃ 热处理后, 残余应力下降幅度较小。与未热处理接头相比, 经高频感应热处理后, 焊接接头的微观组织、拉伸性能与硬度分布无明显变化。

关键词: 残余应力 焊接 2219 铝合金 感应加热

中图分类号: TG442

0 序 言

2219 铝合金因其优异的力学性能、良好的焊接性及抗腐蚀性等特点而被广泛应用于航空航天领域, 目前国内 2219 铝合金的焊接主要采用钨极氩弧焊、电子束焊接及搅拌摩擦焊等方法, 其中 TIG 焊应用最为广泛。但由于 TIG 焊在焊接过程中存在不均匀分布的温度场及焊缝各区域间热胀冷缩的不均匀, 会导致较大焊接残余应力的产生, 从而影响构件的使用性能^[1-3], 因此必须对其进行消除处理。感应加热技术作为一种热处理去应力的方法, 具有效率高、操作简单及局部热处理等优点^[4-8], 可有效针对焊缝区域进行去应力退火, 进而消除焊接构件的残余应力。

文中利用高频感应加热技术, 对 2219 铝合金 TIG 焊接接头进行消除残余应力处理, 并采用 X 射线衍射法测试残余应力, 分析不同热处理温度对残余应力的影响, 预期达到显著降低焊缝区残余应力的同时保证接头力学性能的目的。

1 试验件与试验方法

1.1 试片焊接

选用四组 8 mm 厚 2219 铝合金板材, 尺寸为 150 mm × 300 mm, 采用直径为 1.6 mm 的 2325 焊丝, 焊接方法为直流氩弧打底 + 变极性氩弧盖面的 TIG 焊。焊前利用机械刮削方法去除待焊部位表面氧化层, 主要焊接参数见表 1。

表 1 试验件焊接参数

焊接类型	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/(^{\circ} \cdot s^{-1})$	送丝速度 $v/(mm \cdot min^{-1})$
直流打底	260	17	0.102	—
变极性盖面	260	18	0.045	700 ± 200

1.2 应力测试与表征

利用加拿大生产的 Proto - iXRD 便携式残余应力分析设备对焊缝进行残余应力表征分析。为提高测量精度, 在测试前对测量位置进行电解抛光处理, 去除表面附加应力, 保证测量结果反映实际焊接应力。选择铝合金 {311} 晶面作为被测晶面, 采用 Cr 靶 $K\alpha$ 射线。

应力测试方向为平行(纵向应力)和垂直(横向应力)焊缝两个方向, 被测量点的位置分别为焊缝中心以及垂直于焊缝方向距焊缝中心每间隔 10 mm 取一个点, 共测试 5 个点, 测试点及测试方向如图 1 所示。

1.3 高频感应加热去应力

感应加热装置选用锰锌铁氧体作为导磁体材料; 线圈选用紫铜材料, 线圈匝数为 3 匝。感应线圈与试片的间距为 3 mm, 电源功率 40 kW、频率 22 kHz, 实测

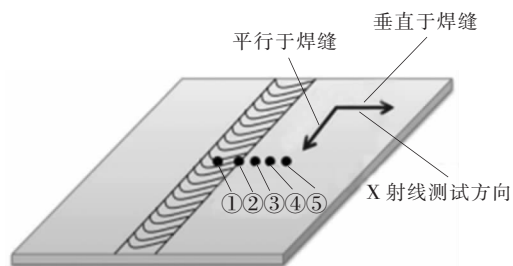


图1 应力测试点1~5分布图

感应线圈功率5.5 kW。试片移动过程温保证焊缝中心线均匀受热,经感应加热后空冷至室温。热处理过程中焊缝中心实测温度分别为93 ℃,140 ℃,190 ℃。

1.4 微观组织与力学性能测试

焊后取一组未热处理试片进行常温力学性能测试与显微硬度测试。其余三组试片在热处理前、后分别进行残余应力测试,并在热处理后沿焊接方向取拉伸试样进行常温力学性能测试,同时制备金相试样以观察微观组织、完成显微硬度测试。

2 试验结果

2.1 感应加热前、后焊接接头残余应力分析

图2为2219铝合金TIG焊接接头经不同温度感应

热处理前、后距焊缝中心不同距离处的残余应力测试结果。由残余应力分布规律可知,纵向与横向残余应力在焊缝中心均处于压应力状态。从焊缝熔合线向热影响区过渡区间(10~35 mm)应力状态为拉应力,远于35 mm范围内接头表面残余应力逐渐降至零应力状态。经190 ℃感应加热处理后纵向残余应力峰值(第2点处)有大幅度下降,由69 MPa降至25 MPa,下降约64%;经140 ℃感应加热处理后纵向残余应力峰值仍有明显降低,下降约40%;而经90 ℃感应加热处理后纵向残余应力峰值下降约26%,消除应力效果已不明显。接头横向残余应力幅值小于纵向残余应力,受热处理后应力变化趋势与纵向残余应力基本一致。

2.2 不同热处理温度下微观组织分析

图3为焊接接头经不同热处理温度后的金相组织。由图3可见,焊缝组织包括焊缝、熔合区和热影响区三个部分。不同感应加热温度处理后的组织形貌无明显变化,其焊缝区均为细小的等轴晶组织,熔合区显微组织为柱状树枝晶,且垂直于熔合线向焊缝中心发展。热影响区显微组织形态接近母材区组织,晶粒较为粗大。

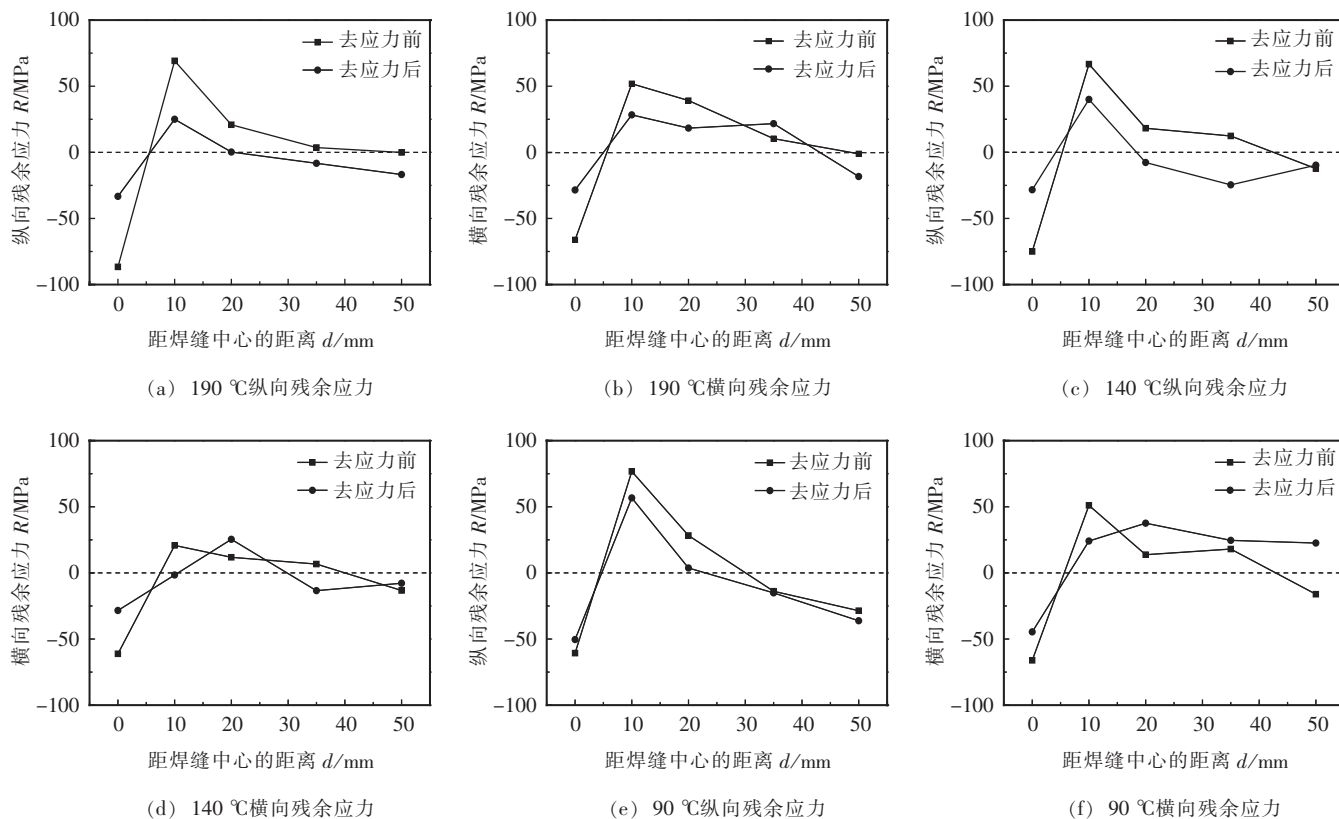


图2 2219 铝合金 TIG 焊接接头不同热处理温度去应力前、后残余应力分布规律

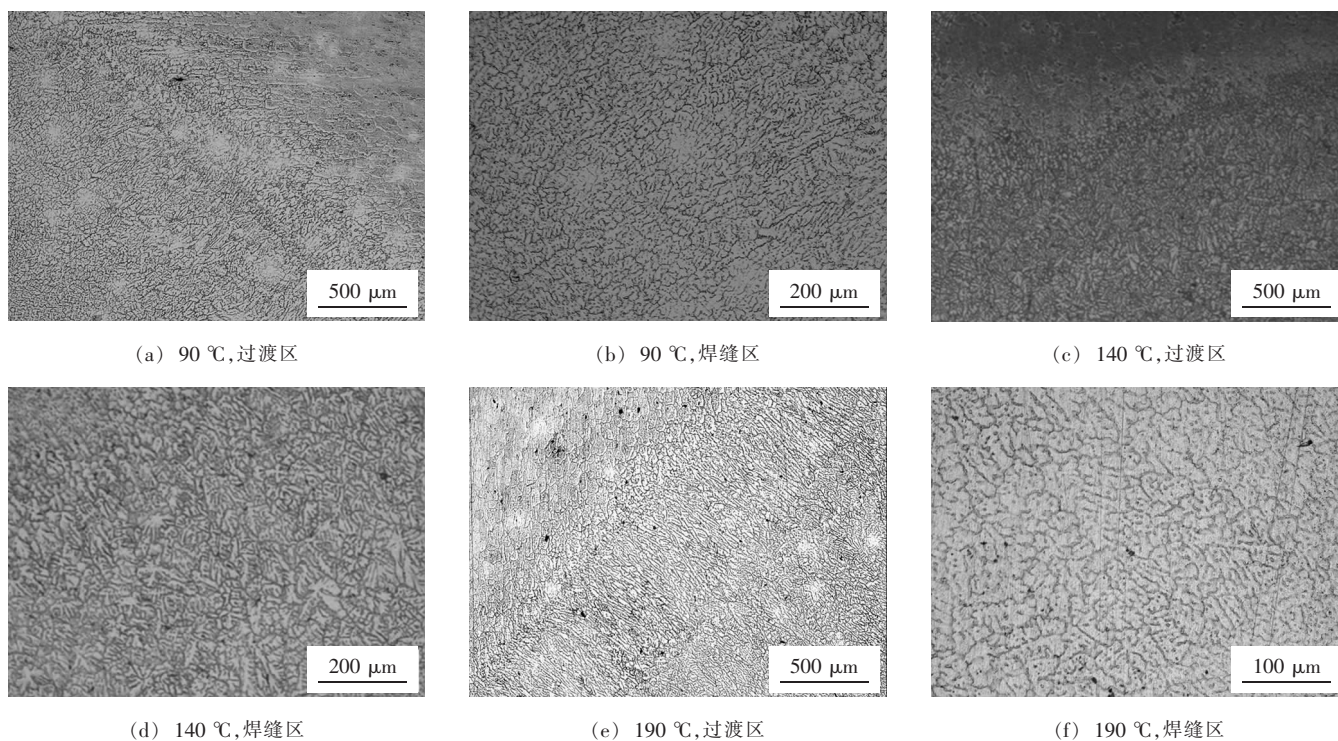


图3 焊接接头不同热处理温度后的显微组织

2.3 不同热处理温度下拉伸性能分析

图4为不同热处理温度下2219铝合金焊接接头的抗拉强度和断后伸长率,对比不同热处理后接头力学性能可以看出,在热处理温度范围内,焊接接头的抗拉强度和断后伸长率变化不大,说明此感应加热处理对焊缝组织的力学性能无明显影响。

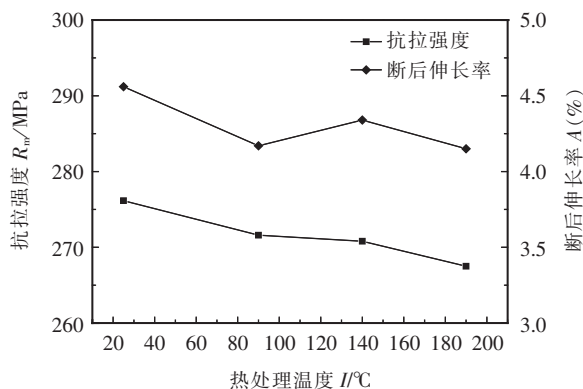


图4 不同热处理温度下焊接接头拉伸性能

2.4 不同热处理温度下显微硬度分析

图5为不同热处理温度下2219铝合金焊接接头横截面的硬度分布,其中0点为焊缝中心位置,焊缝宽度约为15 mm。由图5可知,焊缝区为硬度低谷,明显低于母材,焊缝向母材过渡区的硬度总体趋于上升。经

不同温度热处理后,焊缝区硬度略有升高,其中190 °C热处理后硬度上升幅度最大,这是由于190 °C处于2219铝合金的时效温度区间,焊缝区经历二次短时效的结果。其余区域与未热处理相比,分布趋势无变化。

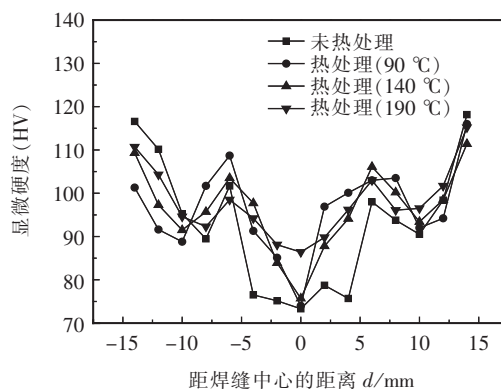


图5 不同热处理温度下焊接接头横截面硬度分布

3 结 论

(1)2219 铝合金 TIG 焊接接头经 190 °C,140 °C 高频感应加热处理后,残余应力显著降低。

(2)残余应力在焊缝中心为压应力状态,从焊缝熔合线向热影响区过渡区(10 ~ 35 mm)应力状态为拉应

力,远于 35 mm 范围逐渐降低至零应力状态。

(3)经不同温度的感应加热处理后,2219 铝合金 TIG 焊接接头微观组织及拉伸性能与未热处理前相比无明显变化,说明感应加热能在有效消除残余应力的同时不改变焊缝的力学性能。

参 考 文 献

- [1] 丁 昌,汤伯歌,王三保,等. 不同热处理方法消除焊接残余应力的研究[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2005,20(4):68-70.
- [2] 王秋成. 航空铝合金残余应力消除及评估技术研究[D]. 杭州:浙江大学硕士学位论文,2004.
- [3] Withers P J, Bhadeshia H K D H. Overview-residual stress part 1 - measurement techniques[J]. Materials Science & Technology, 2001,17(4):355-365.

- [4] 徐先泽,肖雅静,时千峰. 感应加热技术的应用及发展[J]. 现代零部件,2010(3):62-63.
- [5] 李庆庆,李晓延,杨东霞,等. 5E83 铝合金 TIG 焊接接头残余应力分布研究[J]. 焊接,2013(4):22-25.
- [6] 于新年,李新平,宋毅飞. 30CrMnSiNi2A 钢零件感应加热局部回火工艺[J]. 金属热处理,2011,36(9):50-53.
- [7] 李庆庆,宋建岭,彭江涛,等. 2219 铝合金 TIG 焊接接头残余应力分布[J]. 焊接,2016(1):54-57.
- [8] 刘含伟,宋建岭,孙志鹏,等. 异种热处理状态 2219 铝合金 TIG 焊接接头性能研究[J]. 焊接,2014(10):58-60, 63.

作者简介: 邓利芬,1986 年出生,硕士,工程师。主要从事火箭贮箱焊接工艺等方面的研究工作,已发表论文 3 篇。

核电用 EQNiCr-3 焊带熔敷金属拉伸性能分析

杜 宁¹ 霍树斌² 陈 燕² 郭 泉² 韩 波² 张嘉庆³

(1. 哈电集团(秦皇岛)重型装备有限公司,河北 秦皇岛 066206; 2. 哈尔滨威尔焊接有限责任公司,哈尔滨 150080; 3. 厦门大学嘉庆学院,福建 厦门 363105)

摘要 用于核电反应堆蒸汽发生器管板一次侧堆焊的 EQNiCr-3,时有强度和断后伸长率不满足技术要求的情况。通过对不同状态下核电用 EQNiCr-3 熔敷金属室温拉伸不合格断口显微组织及原因进行分析。发现沿晶开裂是熔敷金属塑性不好的主要原因,同时以 Nb 为主的第二相物质的不均匀分布可能也是引起脆性的重要因素。

关键词: 沿晶断口 能谱分析 第二相物质

中图分类号: TG407

0 序 言

核电用 EQNiCr-3 焊带主要用于反应堆蒸汽发生器管板一次侧堆焊,其中恰希玛 C2 蒸汽发生器使用的镍基焊带是 SMC 公司的产品,焊带牌号为 INCONEL Weldstrip 82、尺寸为 60 mm×0.5 mm,焊剂牌号为 IN-COFLUX ESS2,电渣型焊剂。焊材在回厂复验过程中发现熔敷金属的焊态室温拉伸试验数据不合格,抗拉

强度和断后伸长率都没满足技术条件的要求。考虑到实际产品中镍基合金的堆焊层都是在热处理态使用,经过与设计院技术交流,同意进行不同时的热处理试验,最终保证在产品的最小热处理时间下熔敷金属的力学性能满足技术条件的要求^[1-3]。

1 试验材料及方法

试验用焊带及熔敷金属化学成分见表 1。

试验试板采用 SA508-III 的低合金钢锻件,尺寸为 500 mm×500 mm×80 mm,焊接电流为 1 025~1 050 A,