



激光-MIG复合焊接四种表面处理方式对比分析

陶富文 火巧英

【摘要】 本文主要针对铝合金激光-MIG复合焊接表面处理进行研究，为激光-MIG复合焊接技术在国内高速列车铝合金焊接领域的应用提供技术储备和数据支持。试验选用6mm厚6005A铝合金试板，分别进行打磨处理、喷砂处理、微弧氧化处理和涂漆处理，对经不同表面处理状态的铝合金试板使用相同工艺参数进行激光-MIG复合焊接，探寻最适合激光-MIG复合焊接的表面处理方式。

关键词： 表面处理；激光-MIG复合焊接；接头性能分析

1. 概述

激光-MIG复合焊接是把激光与电弧结合在一起，既充分集成激光焊接与电弧焊接的优点，又使激光、MIG的不足得到互补。选用6mm厚6005A铝合金试板，分别进行打磨处理、喷砂处理、微弧氧化处理和涂漆处理，对经不同表面处理状态的铝合金

试板使用相同工艺参数进行激光-MIG复合焊接，探寻最适合激光-MIG复合焊接的表面处理方式。

2. 试验材料

喷砂处理所使用喷料为60[#]金刚砂，喷砂机工作过程中正常压力为0.5~0.6MPa；涂漆处理所用油漆为普通黑色油漆，经打磨

后在坡口处涂一层；微弧氧化处理的电解液成分如表1所示，测得微弧氧化膜厚度20 μ m。试验所用复合焊接参数如表2所示。

3. 焊缝正面形貌对比

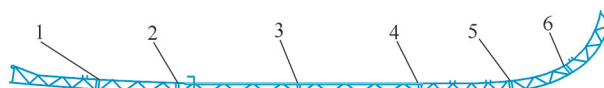
四种处理状态的焊缝正面形貌如图1所示。打磨处理状态的焊缝成形良好，但是鱼鳞纹不清晰；喷砂处理状态的焊缝成形良

4. 结语

实践证明，通过对侧墙正、反面自动焊接进行焊前反变形预制，能够有效保证侧墙结构关键参数（外轮廓度、弦长）满足后工序的使用要求，解决了侧门组成安装困难、因机械调修或余外打磨造成的母材损伤等一系列的组装功能及表面质量问题，并且操作方便可靠，降低了劳动强度，提高了工作效率。

表2 侧墙反面自动焊接参数、焊接顺序以及焊接方向要求

焊缝编号	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	电流种类/极性	焊接速度/cm·min ⁻¹	功率比(%)
1	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
2	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
3	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
4	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
5	1.2	180	21	DCEP/+	75	51
6	1.2	205	22	DCEP/+	75	60



焊接顺序要求：1、5→2、4→3、6；焊接方向要求：所有焊缝的焊接方向保持一致。

作者简介：周靖峰等，中车四方机车车辆股份有限公司。

MW 20170621

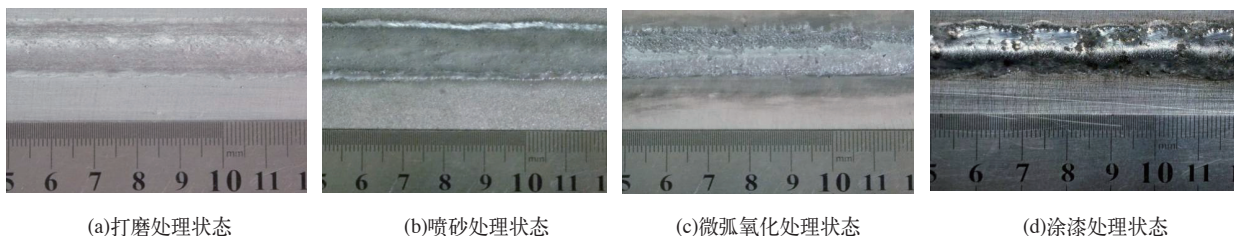


图1 四种处理状态的焊缝正面形貌

表1 微弧氧化的电解液成分(6L溶液)

电解液成分	EDTA二钠	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Na ₂ WO ₄
电解液比重/g·L ⁻¹	2	12	1.2	2.2
药品重量/g	12	72	7.2	13.2

表2 激光-MIG复合焊接参数

激光功率/kW	送丝速度/m·min ⁻¹	焊接速度/m·min ⁻¹	离焦量/mm	光丝间距/mm	试板间隙/mm
3.5	13.5	0.72	0	3	1.2

好，余高低平且鱼鳞纹清晰；微弧氧化处理状态的焊缝形状不稳定；涂漆处理状态的焊缝形状独特，余高呈现尖锥状，焊缝成形不良。

经喷砂处理后，坡口表面粗糙度增加，激光能量的吸收效率提高，有利于改善激光与电弧两热源的耦合效果，所以焊缝成形美观；微弧氧化膜层成分与陶瓷相近，具有熔点高、硬度大、导电性差等特点，对电弧的稳定有不利影响，所以焊缝形状不稳定；涂漆处理的坡口一方面导电性较差，另一方面焊接过程中有机物的分解也会对电弧的稳定产生不利影响，因此焊缝成形不佳。

(1) 探伤结果对比 将余高与背面成形槽打磨掉之后对试板进行X射线探伤，四种处理状态的焊缝探伤结果如图2所示。

分析四种处理状态的焊缝探伤结果可知：打磨处理状态和喷

砂处理状态的焊缝基本没有气孔，焊缝熔合线平直稳定，无损探伤情况良好；涂漆处理状态的焊缝中气孔很多，这是因为涂漆处理时引入很多有机物，有机物在焊接过程中分解产生C、H元素，容易形成CO、H₂气孔，导致气孔缺陷较多；微弧氧化处理状态的焊缝中存在少量气孔，焊缝熔合线波动较大而且个别地方出现凹坑，这是因为微弧氧化膜层影响电弧稳定性，电弧稳定性差一方面会导致填充金属的不均匀性增加，另一方面也会对保护氛围产生不利影响。

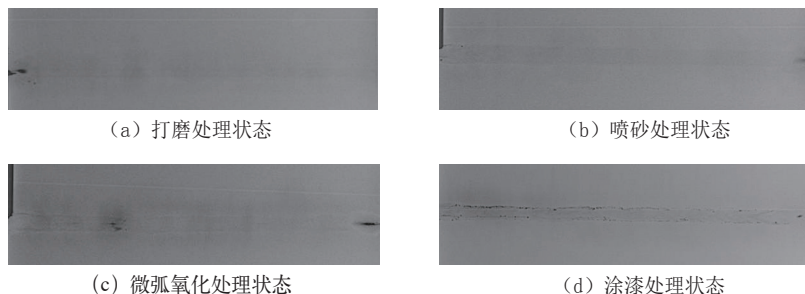


图2 四种处理状态的焊缝探伤结果

(2) 金相组织对比 四种处理状态的母材组织与热影响区组织基本相同，差别主要体现在焊缝。四种处理状态的焊缝组织如图3所示。四种处理状态的焊缝均为明显的枝晶组织，分布杂乱无序。微弧氧化处理状态和涂漆处理状态的焊缝枝晶组织较为粗大，打磨处理状态和喷砂处理状态的焊缝枝晶相对细小，枝晶组织细小有利于降低焊缝组织的结晶裂纹敏感性。

4. 力学性能对比

(1) 接头拉伸性能对比 四种处理状态的接头抗拉强度如表3、图4所示。

不同处理状态的接头抗拉强度差别很大。打磨处理状态的接头抗拉强度为198.33MPa，试样断于热影响区；微弧氧化处理状态的接头抗拉强度接近190MPa，试样断于热影响区；喷砂处理状态的接头抗拉强度接近180MPa，试样断于焊缝；涂

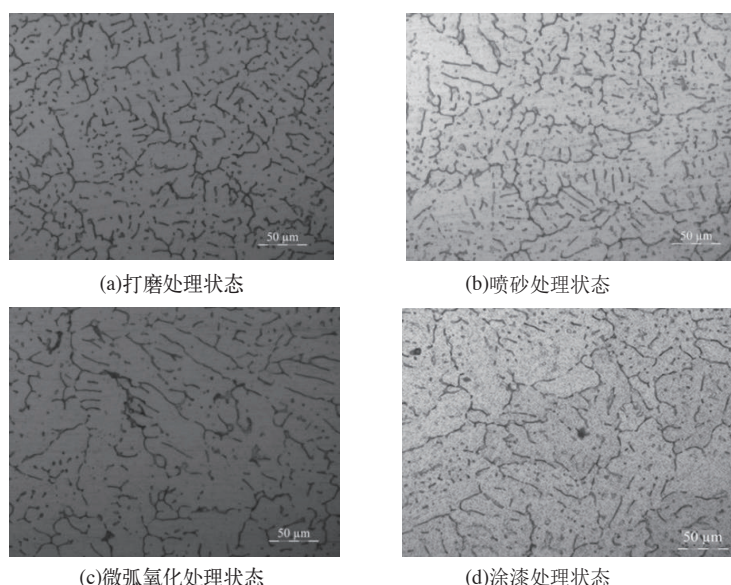


图3 四种处理状态的焊缝组织

表3 四种处理状态的接头抗拉强度 (MPa)

处理状态	打磨	喷砂	微弧氧化	涂漆
抗拉强度	198.33	181.67	187.67	171

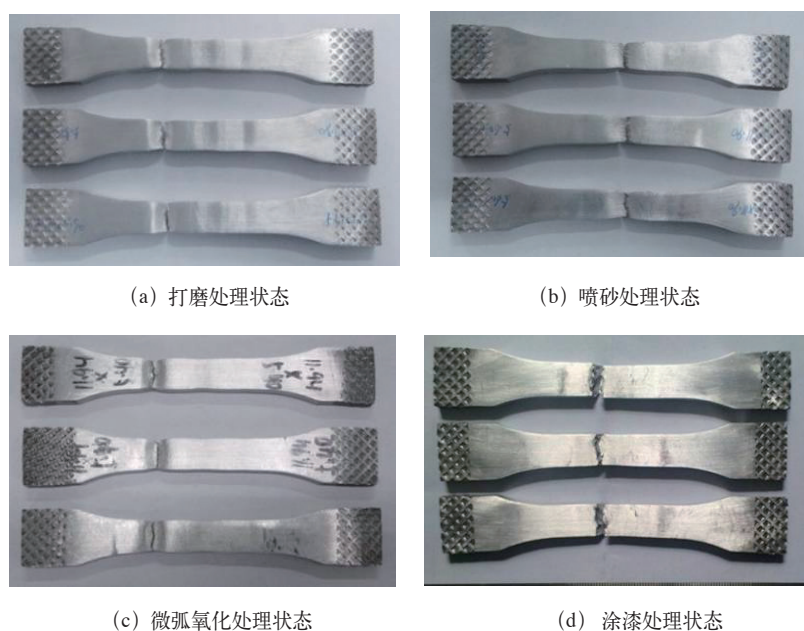


图4 四种处理状态的拉伸试样

漆处理状态的接头抗拉强度仅为171MPa, 试样断于焊缝。焊缝存在气孔会减少有效承载面积并引发应力集中, 对接头的抗拉强度产生不利影响, 涂漆处理状态的接头气孔密布, 所以抗拉强度低。

(2) 接头弯曲性能对比 弯曲试验结果表面。打磨处理状

态、喷砂处理状态和微弧氧化处理状态的弯曲试样都能弯曲至180°, 接头没有裂纹; 涂漆处理状态的弯曲试样只有一个背弯试样没有断裂, 其他五个试样全都断裂。涂漆处理状态的接头弯曲性能明显不如其他三种处理状态, 这同样与焊缝存在大量气孔有关。

(3) 接头冲击性能对比 四种处理状态的接头冲击试验测得的冲击吸收能量如表4所示。四种处理状态的接头焊缝区的冲击吸收能量均小于母材, 尤其是涂漆处理状态和微弧氧化处理状态的接头焊缝区的冲击吸与母材差别较大; 四种处理状态的接头热影响区的冲击吸收能量接近, 均远大于母材和焊缝。6005A铝合金为热处理强化铝合金, 焊接过程中热影响区组织受热第二相 Mg_2Si 聚集长大产生时效, 导致第二相 Mg_2Si 沉淀强化所引起的晶格畸变减少, 热影响区组织的强度有所降低但是韧性大大提高, 所以冲击吸收能量很高。打磨处理状态和喷砂处理状态的焊缝冲击功与母材接近, 冲击性能优良。

(4) 接头硬度对比 四种处理状态的接头硬度分布情况如图5所示。四种处理状态的接头硬度分布趋势相似, 从焊缝到母材硬度值先上升后下降再上升最后趋于平稳, 焊缝和热影响区的过时效区硬度最低, 是接头的薄弱区域, 这与拉伸试验的结果相统

表4 四种处理状态的接头冲击吸收能量 (J)

状态	打磨	喷砂	涂漆	微弧氧化
焊缝	7.43	8.47	5.73	5.93
热影响区	20.53	21	18.43	21.67
母材	9.4	9.4	9.4	9.4

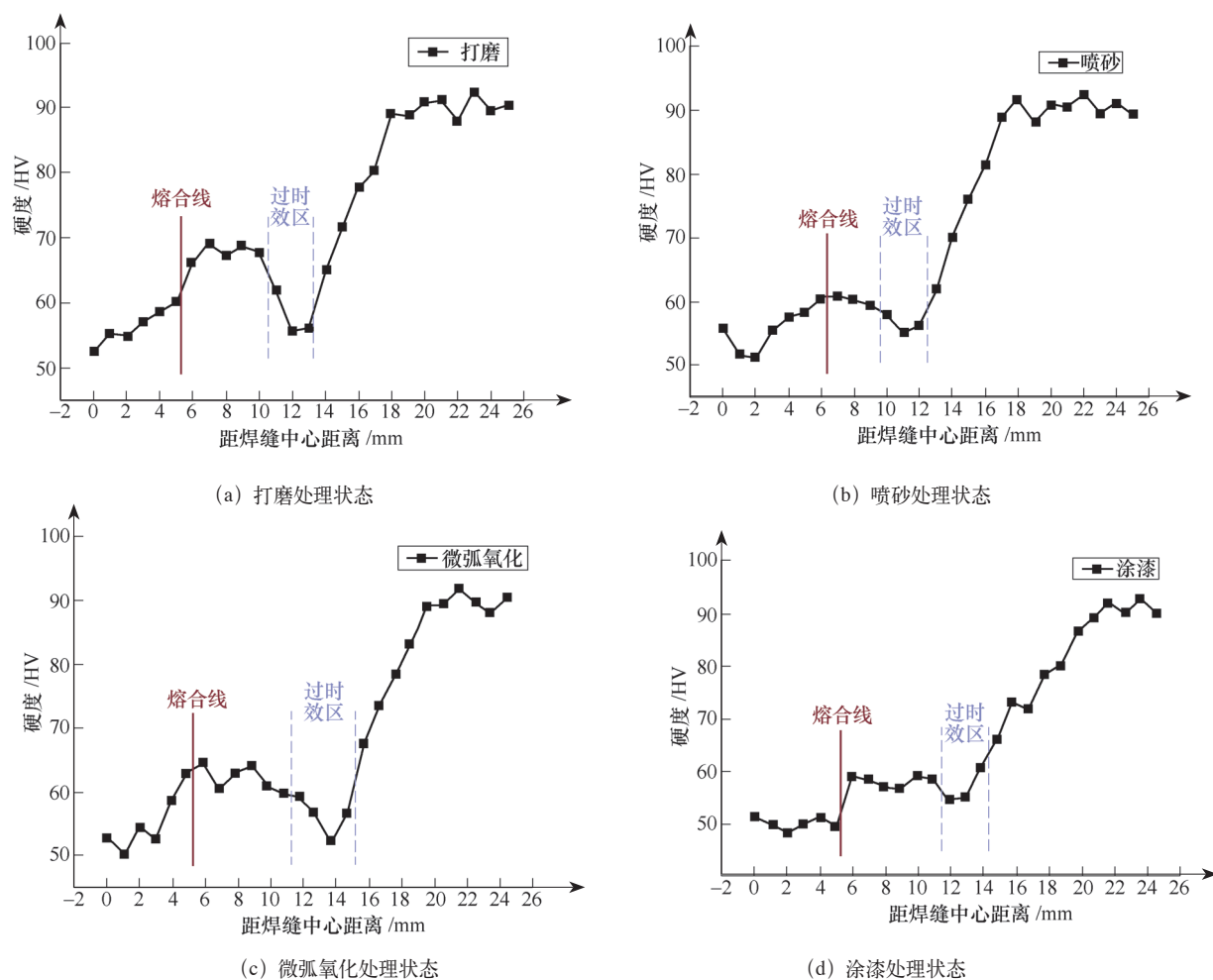


图5 四种处理状态的接头硬度分布

一。

打磨处理状态的热影响区的宽度为12mm,过时效区位于距离焊缝中心11~13mm处,焊缝最低硬度52.60HV,过时效区最低硬度56.18HV;喷砂处理状态的热影响区的宽度为10mm,过时效区位于距离焊缝中心10~12mm处,焊缝最低硬度51.607HV,过时效区最低硬度55.10HV;微弧氧化处理状态的热影响区的宽度为14mm,过时效区位于距离焊缝中心12~15mm处,焊缝最低硬度50.27HV,过时效区最低硬度52.60HV;涂漆处理状态的热影响区的宽度为14mm,过时效区位于距离焊缝中心12~14mm处,

焊缝最低硬度48.37HV,过时效区最低硬度54.55HV。打磨处理状态和喷砂处理状态的接头硬度高,软化区范围窄,接头硬度分布状况良好;微弧氧化处理状态和涂漆处理状态的接头硬度低,软化区范围宽,接头硬度分布状况不良。

(5) 力学性能汇总分析 对比焊接接头的硬度分布、抗拉强度、弯曲性能和冲击韧性可知:四种处理状态中打磨处理状态的焊接接头综合力学性能最佳;喷砂处理状态的力学性能良好,但是抗拉强度较低;微弧氧化处理状态和涂漆处理状态的焊接接头力学性能欠佳。

5. 结语

从焊缝正面形貌、无损探伤、金相组织和力学性能等方面对四种表面处理状态的焊接接头进行对比可知:打磨处理状态的焊接接头成形美观,焊接缺陷少,组织良好,综合力学性能优良,最适合用来对6mm厚开坡口的6005A铝合金焊接试板进行处理;喷砂处理的效果与打磨处理相近,但在拉伸性能方面有所不足;微弧氧化处理和涂漆处理的焊缝成形不稳定,缺陷较多,组织粗大,力学性能欠佳。

作者简介:陶富文等,中车海泰制定设备有限公司。