

TIG 重熔对 6005A-T6 铝合金焊接接头组织及性能的影响

金鑫,康铭,徐玉君,卢小磊,周金旭

(辽宁忠旺集团有限公司,辽宁 辽阳 111000)

摘 要:针对铝合金焊接接头缺陷 TIG 重熔修复,采用 6005A-T6 铝合金作为母材,先采用 MIG 焊对母材进行焊接,焊后采用无脉冲 TIG 焊对焊趾处进行重熔,有脉冲 TIG 焊对焊缝处进行重熔,对重熔前后的焊接试验件进行金相显微组织形貌及性能对比分析。结果表明,重熔后热影响区宽度明显大于重熔前,组织晶粒更加粗大,弥散相分布更加均匀;硬度最低值均出现在热影响区处,TIG 重熔前后硬度值相差不大;抗拉强度较重熔前有所降低;TIG 重熔前后断裂均为韧性断裂,说明重熔并没有改变 6005A 铝合金的断裂性质。因此可以采用 TIG 重熔技术对焊缝咬边等缺陷进行修补。

关键词:TIG 重熔;6005A-T6 铝合金;组织性能

中图分类号: TG457.14

文献标识码: A

文章编号: 1671-6795(2021)02-0023-05

铝合金具有自身质量小、耐腐蚀、外观平整度好、容易制造成复杂曲面、比强度高优点,因此受到世界各国轨道交通业的重视^[1]。6005A 铝合金为可热处理强化铝合金,是一种中等强度铝合金,铝合金焊接结构中焊接接头焊趾处容易产生咬边等焊接缺陷,采用 TIG 重熔方法对焊接接头焊缝处及焊趾处进行焊接修复,清除可能产生的咬边等缺陷,使焊缝形貌得到改善。本文主要针对 6005A-T6 铝合金采用 MIG 焊后进行 TIG 焊重熔焊接工艺,TIG 焊采用有无脉冲,重熔位置分为焊缝处和焊趾处,对重熔前后焊接头的组织及力学性能进行对比分析。

1 试验材料、设备及试验方法

1.1 试验材料

试验母材为 3mm 厚 6005A-T6 铝合金延压板材,试板尺寸为 300mm×150mm×3 mm,焊丝为 Φ1.2mm 的 ESAB5356 焊丝。母材成分(质量分数,%)为, Si 0.63, Mg 0.70, Fe 0.35, Cu 0.30, Mn 0.48, Cr 0.30, Zn 0.18, Al 余量;其力学性能, $R_{p0.2}$ 为 272.2MPa, R_m 为 305.2MPa, A 为 13.4%。

1.2 焊接设备及试验方法

焊接设备采用福尼斯 TPS-5000 MIG 焊机,松下 YC-3008P TIG 焊机,采用 99.99%纯度 Ar 进行保护。

(1)焊前采用机械打磨方法将焊缝两侧 25mm 范

围内进行表面清理去除表面氧化膜及油污等杂质,清理后的试验板要立即进行焊接,防止母材长时间暴露在空气中再次形成氧化膜;

(2)对 6005A-T6 铝合金采用对接接头形式,先进行 MIG 焊接,焊接完成后采用 TIG 焊对接头焊缝处部位进行重熔,分别采用无脉冲及加脉冲形式进行重熔,需获得良好的焊缝形貌,分析有无脉冲对焊缝重熔的影响;

(3)采用无脉冲 TIG 焊对接头焊趾处进行重熔,对 6005A-T6 铝合金焊接接头 TIG 重熔前后的显微组织形貌、显微硬度、拉伸性能、SEM 进行分析。室温下用脱脂棉蘸腐蚀液在金属试样表面擦拭,腐蚀溶液为 1%HF+1.5%HCl+2.5% HNO_3 +95% H_2O ,擦拭时间为 10s,腐蚀完成后用流动清水冲洗,再进行酒精清洗后烘干。焊接试验参数见表 1。

2 试验结果分析

2.1 焊接接头金相显微组织分析

使用蔡司 M2m 光学显微镜对焊接接头焊缝及熔合线处进行金相组织观察,图 1 至图 4 分别为 MIG 焊未重熔、无脉冲 TIG 在焊趾处重熔、脉冲 TIG 在焊缝处重熔、无脉冲 TIG 在焊缝处重熔 4 种焊接工艺方法焊接接头焊缝及熔合线处金相显微组织。

表 1 焊接参数

Tab.1 Welding parameters

试件编号	焊接工艺	重熔位置	焊接速度/ (m/min)	焊接电流 I/A	焊接电压 U/V	送丝速度/ (m/min)	占空比/ %	频率 f/Hz	保护气体流量/ (L/min)
1-1	MIG 未重熔	/	0.6	110	18.4	3.5	/	/	18
2-1	MIG+无脉冲 TIG	焊趾处	0.7	135	17.0	/	/	/	13
3-1	MIG+脉冲 TIG	焊缝处	0.7	基值电流 140 峰值电流 190	17.6	/	50	100	13
4-1	MIG+无脉冲 TIG	焊缝处	0.7	160	18.4	/	/	/	13

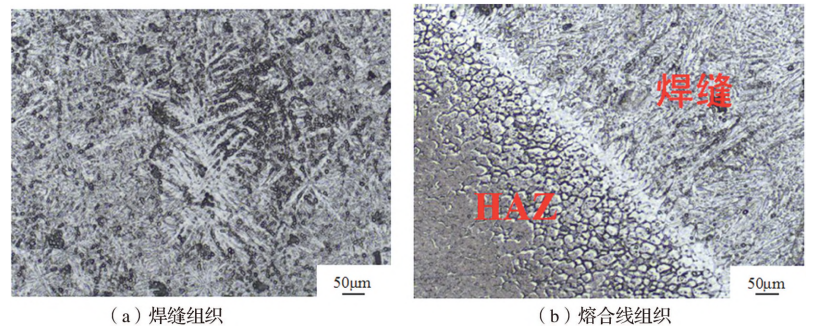


图 1 MIG 焊未重熔组织
Fig.1 MIG welding unremelted structure

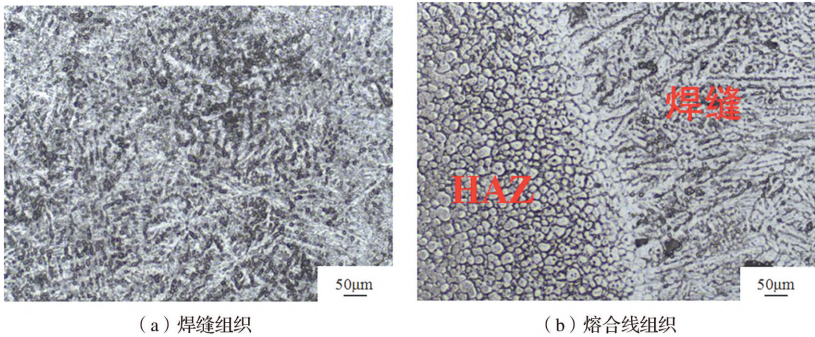


图 2 无脉冲 TIG 焊趾处重熔组织
Fig.2 Remelted structure at toe of TIG welding without pulse

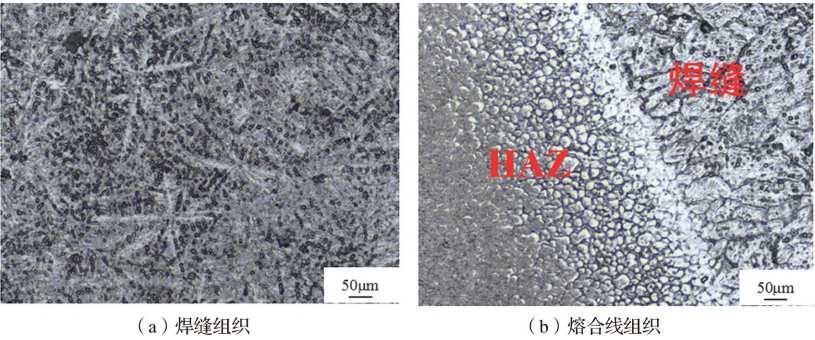


图 3 脉冲 TIG 焊缝处重熔组织
Fig.3 Pulsed TIG weld seam remelting structure

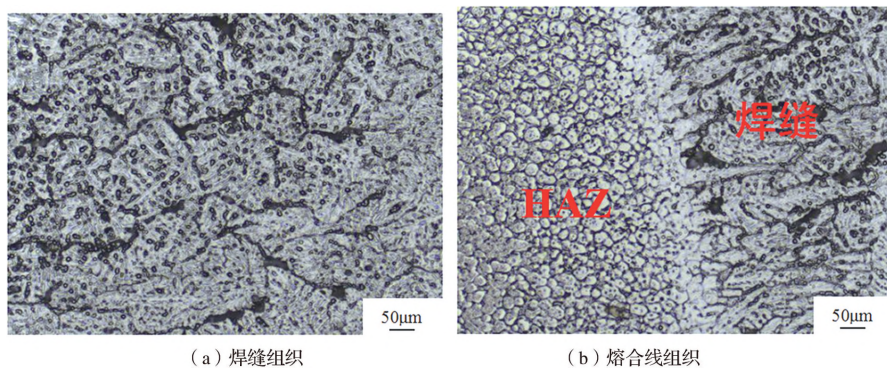


图4 无脉冲 TIG 焊缝处重熔组织

Fig.4 Remelted microstructure at pulse-free TIG weld

图1(a)为未进行重熔处理的焊缝处金相组织,焊缝处快速加热及冷却,枝晶网组成物已部分固溶,并从 $\alpha(\text{Al})$ 基体中析出大量的 β 相的弥散质点,焊缝区组织为等轴晶和树枝晶的混合物,部分区域聚集,分布不均匀。图2(a)、图3(a)、图4(a)分别为无脉冲TIG焊趾处重熔、脉冲TIG焊缝处重熔和无脉冲TIG焊缝处重熔金相显微组织,从图中可以看出,无论是在焊趾处重熔,还是在焊缝处重熔,焊缝处组织与重熔前组织组成物基本一致,但弥散质点 β 相分布的更加均匀。

图1(b)、图2(b)、图3(b)、图4(b)分别为TIG重熔前后焊接接头熔合线处金相显微组织,从金相组织可以看出,熔合区处柱状晶明显长大,方向性较强,熔合区温度梯度较大,沿着散热较快方向的反向晶粒长大速度较快,垂直于熔合线的方向即为散热最快的方向,即借助半熔化的晶粒形核,沿垂直于熔合线方向发生联生柱状晶粒生长^[2]。随着柱状晶向熔池内部不断生长推进,熔池区域开始慢慢缩小,由于成分过冷,熔池区开始逐渐形核,最后形成大量的等轴晶粒。相比于重熔前,焊缝处及焊趾处重熔后的接头热影响区相对较宽,组织晶粒更加粗大,组织疏松。对比图3(b)和图4(b),在焊缝处进行TIG重熔,无脉冲TIG重熔时的热影响区明显大于有脉冲TIG重熔时的热影响区,这是由于无脉冲TIG重熔时,焊接电流相对较大,导致焊接热输入增大,焊缝凝固时间变长,有利于晶粒生长,但接头的力学性能相对较差。

2.2 显微硬度测试

按照GB/T 2654-2008《焊接接头硬度试验方法》制备硬度试样,仪器采用FV-810维氏显微硬度计,以焊缝中心为原点向两侧每隔1mm打一个点,每侧20个点,TIG重熔前后的焊接接头显微硬度分布曲线如图5所示。从图5可以看出,重熔后接头的热影响区

较宽,这主要是由于二次焊接热量叠加所导致的,TIG重熔前后,焊缝处及热影响区处硬度大大低于母材,硬度曲线走势大致相同,并没有出现异常走向,TIG重熔前后出现硬度最低的位置均为热影响区处,说明在热影响区处存在比较明显的软化区,该区域晶粒组织粗大,力学性能较差,硬度值较低。TIG重熔前后的硬度值相差不大,未超过5HV。

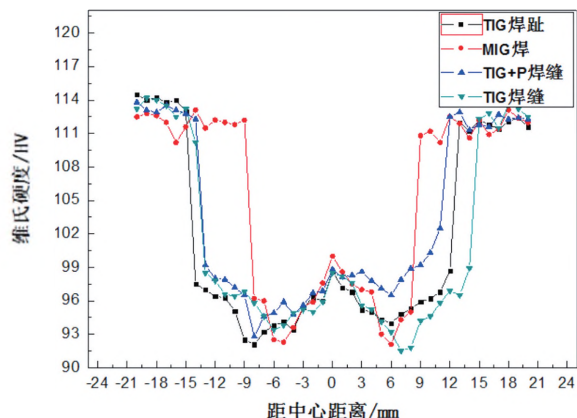


图5 TIG 重熔前后显微硬度曲线

Fig.5 Microhardness curves before and after TIG remelting

2.3 拉伸性能测试

对TIG重熔前后的试件进行室温拉伸试验,根据GB/T 2651-2008《焊接接头拉伸试验方法》制备拉伸试样件,使用岛津AG-X 100KNH型电子万能实验机进行横向室温拉伸实验。拉伸试验结果见表2,拉伸试样如图6所示。拉伸试验结果显示,断裂位置均为热影响区,这与上一部分硬度最小值出现在热影响区相匹配,表明热影响区为焊接接头最为薄弱的地方;TIG重熔后的抗拉强度均小于重熔前,但接头系数均达到母材实际抗拉强度的60%以上,符合ISO15614-2标准接头系数要求。

表 2 拉伸试验结果
Tab.2 Tensile test results

试件编号	焊接工艺方法	重熔位置	抗拉强度 R_m /MPa	均值/MPa	接头系数 T	断裂位置
1-1	MIG 未重熔	/	203.2	203.9	0.66	HAZ
			204.5			
2-1	MIG+无脉冲 TIG	焊趾处	185.8	185.2	0.60	HAZ
			184.5			
3-1	MIG+脉冲 TIG	焊缝处	192.5	194.1	0.63	HAZ
			195.6			
4-1	MIG+无脉冲 TIG	焊缝处	188.6	187.0	0.61	HAZ
			185.4			



图 6 拉伸试样

Fig.6 Tensile samples

脉冲 TIG 焊在焊缝处重熔的抗拉强度大于无脉冲 TIG 焊在焊趾处及在焊缝处重熔的抗拉强度,这是

由于脉冲 TIG 焊在焊缝处重熔时,焊接电流要小于无脉冲 TIG 焊,焊接热输入较小,晶粒较为细小,力学性能较好。在焊趾处进行无脉冲 TIG 重熔时,虽然焊接电流较小,但由于两侧均进行重熔,且铝合金的热导性较好,使得热影响区处晶粒继续长大,导致力学性能降低。

2.4 断口分析

采用岛津 SSX-550 分析扫描电子显微镜对焊接件拉伸断口形貌进行观察,扫描结果如图 7 所示。从图 7(a)中可以看出,TIG 重熔前,韧窝较深且分布比较均匀,说明塑韧性较好,从韧窝的大小及数量上来看,TIG 重熔前拉伸断裂为韧性断裂。

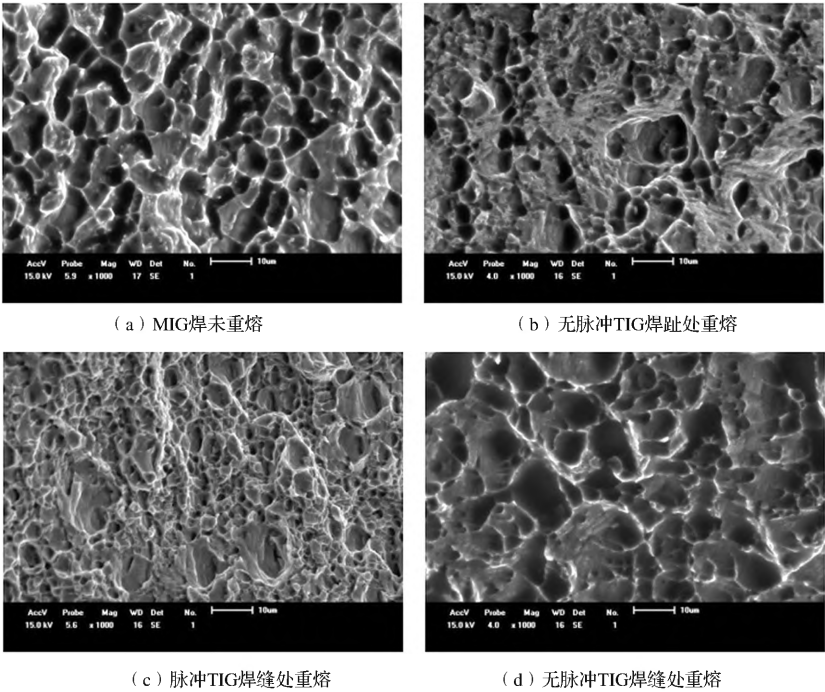


图 7 拉伸试样

Fig.7 Tensile samples

图7(b)(c)(d)为TIG重熔后拉伸断口形貌,相比于无脉冲TIG在焊趾及焊缝处重熔,脉冲TIG在焊缝处重熔时,韧窝数量较多,韧窝较浅,虽然粗细不均匀,但也表现出良好的拉伸性能,塑性不如母材,从韧窝数量及大小可判断断裂机理为韧性断裂;图7(b)(d)韧窝数量较少,但韧窝大而深,表现出良好的塑韧性,韧窝大小不均匀,随着负载的不断增大和材料塑性变形的进行,大量位错进入到微孔之中,使得微孔逐渐长大,直到微孔聚集到临界尺寸后导致材料断裂,但是断口仍为韧性断裂。

TIG重熔前后拉伸断裂均为韧性断裂,说明重熔处理未对断裂机理造成影响,这说明铝合金焊接试样在焊后若产生咬边等焊接缺陷,可采用TIG焊对其进行重熔修复处理。

3 结论

(1)TIG重熔后焊缝处弥散质点分布的更加均匀,热影响区宽度明显大于重熔前,组织晶粒更加粗

大,这是由于TIG重熔二次焊接热量叠加,焊缝凝固时间延长,有利于组织生长。

(2)TIG重熔前后硬度最低值均出现在热影响区处,与拉伸试验断裂位置相一致,说明在热影响区处出现软化区,重熔前后的硬度值相差不大,硬度曲线走势大致相同。

(3)MIG焊后对6005A-T6铝合金进行TIG重熔抗拉强度较重熔前有所下降,但接头系数仍达到0.6以上,焊后质量达到标准要求。TIG重熔前后的拉伸断口均出现大量的韧窝,拉伸断裂均为韧性断裂,表明在进行TIG重熔处理后并未对断裂机理造成影响。综上所述,当焊缝表面出现咬边等缺陷时,可以使用TIG重熔方法对其进行修补。

参考文献

- [1] 朱正锋,张国荣,周斌,等.铝合金在轨道交通业的应用与展望[J].铁道机车车辆工人,2006(1):26-28.
- [2] 吕德林,李砚珠.焊接金相分析[M].北京:机械工业出版社,1987.

Effect of TIG Remelting on Microstructure and Properties of 6005A-T6 Aluminum Alloy Welded Joint

Jin Xin, Kang Ming, Xu Yujun, Lu Xiaolei, Zhou Jinxu

(Liaoning Zhongwang Group Co., Ltd., Liaoyang 111000 China)

Abstract: In order to repair the defect of the welded joint of aluminum alloy with TIG remelting, this paper discusses the use of 6005A-T6 aluminum alloy as the base material, first use MIG welding to weld the base material, then use pulsless TIG welding to remelt the weld toe, remelting the weld seam, and make a comparison analysis of the metallographic microstructure and properties of the welding test pieces before and after remelting. The results show that the width of heat-affected zone after remelting is obviously larger than that before remelting, and the grain size is coarser and the distribution of dispersion phase is more uniform. The lowest hardness values all appeared in the heat-affected zone, and there is little difference between the hardness values before and after TIG remelting. The tensile strength is lower than that before remelting. The fractures before and after TIG remelting are all ductile fractures, indicating that the fracture properties of 6005A aluminum alloy have not been changed by remelting. Therefore, TIG remelting technology can be used to repair defects such as weld undercut.

Keywords: TIG remelting; 6005A-T6 aluminum alloy; organizational performance

(上接第8页)

Research Progress on Corrosion Resistance of High-Entropy Alloys

Huang Hailuo, Hu Yunjie, Li Xin, Zhao Nana, Wang Jiale, Cui Enxing, Gao Yuan

(School of Resources and Materials, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: This paper introduces the corrosion behavior of HEAs block materials and HEAs coatings at room temperature, high temperature environments and some special medium, discusses the influence of alloy elements, heat treatment, environmental factors and preparation technology on corrosion resistance of HEAs, and briefly analyzes the problems faced by the future research on the corrosion behavior of HEAs.

Keywords: high-entropy alloys (HEAs); corrosion resistance; alloying element; heat treatment; phase diagram