

1Cr18Ni9Ti/6A02 异种金属钎焊接头结构分析

1Cr18Ni9Ti/6A02 Dissimilar Metal Braze Welding Head Structure Analysis

首都航天机械公司 孙秀京 马广超 马丽翠 孔兆财 范波 柳玲 陈志凯

[摘要] 本文针对采用坩锅炉钎焊工艺获得的1Cr18Ni9Ti不锈钢与6A02铝合金异种金属钎焊接头进行了接头形貌及微观组织分析。通过金相检查的方法阐述了接头宏观形貌及界面组织特点;使用扫描电镜进行了高倍组织观察及能谱测量,从而进一步分析了钢/铝异种金属界面层结构,对接头典型缺陷进行了描述和分析。

关键词: 钢 / 铝异种金属 接头组织 界面结构 典型缺陷

[ABSTRACT] The morphology and the microstructure of 1Cr18Ni9Ti stainless steel and 6A02 aluminum alloy dissimilar metal joints obtained by the crucible furnace brazing process are analysis in this paper. The macro morphology and the microstructure characteristics of the joints were expounded through metallographic examination; Scanning electron microscopy is used to observe the microstructure and measure the energy spectrum, thus the steel / aluminum dissimilar metal interface layer structure is further analyzed, and the typical defect of the joint is described and analyzed.

Keywords: Steel/aluminum dissimilar metals Joint microstructures Interface structure Typical defects

不锈钢与铝合金的优质、高效连接结构在航空航天、交通运输、国防等工业部门的关键构件中发挥着至关重要的作用。然而两者之间固溶度低、热物理性能差异大,焊接过程中极易反应生成脆性的金属间化合物,严重恶化了接头的力学性能,成为焊接领域中公认的急需攻克的难点问题^[1-2]。与其他焊接方法相比,钎焊接头形式设计更为灵活,可根据工艺需要做适应性调整,易于获得可靠连接,成为解决钢/铝异种金属连接一种稳定可靠、便捷的工艺方法,在异种金属连接领域应用广泛。本文采用坩锅炉钎焊工艺解决了不锈钢与铝合金异种金属焊接难题,所研制产品已在航天领域得到稳定应用,针对采用坩锅炉钎焊工艺获得的1Cr18Ni9Ti不锈钢与6A02铝合金异种金属钎焊接头进行了接头宏观

形貌及微观组织分析。

1 研究对象

本文研究对象为采用坩锅炉钎焊工艺获得的1Cr18Ni9Ti不锈钢与6A02铝合金异种金属钎焊管接头,接头实物如图1所示。

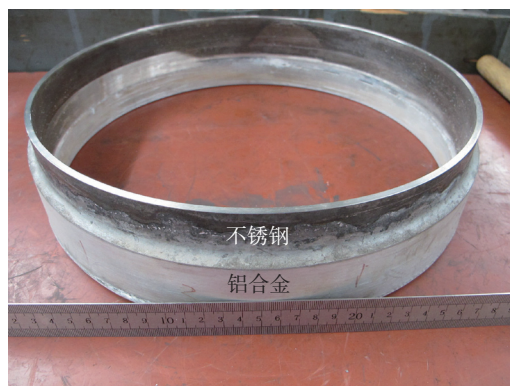


图1 1Cr18Ni9Ti/6A02异种金属钎焊管接头
Fig.1 A dissimilar metal brazed joint of 1Cr18Ni9Ti/6A02

2 接头宏观形貌

如图2(a)所示,采用剖切的方式将管接头沿轴向对称切割,获得两件接头剖切试件(见图2(b)所示)。

经显微镜观察,获得的接头宏观形貌如图3所示。从图中可以看出,钎焊缝焊脚饱满、钎料润湿铺展良好,

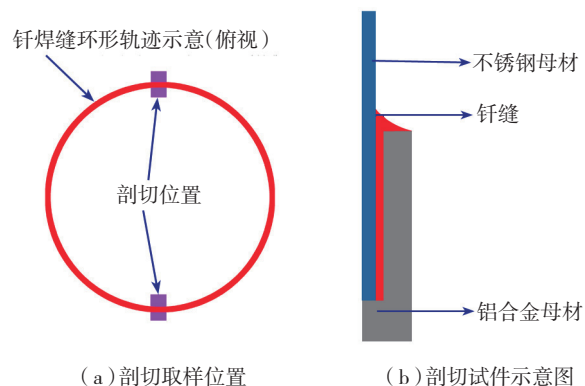


图2 剖切试件取样示意图
Fig.2 Scheme of cutting specimen

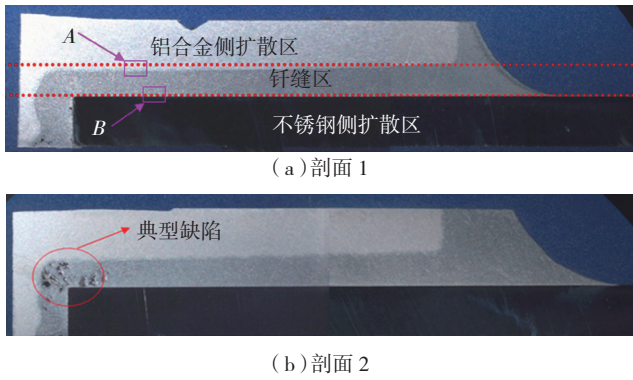


图3 钎焊接头宏观形貌

Fig.3 Macro morphology of brazed joint

在不锈钢与铝合金之间形成了良好连接,剖切部位钎着率达到 100%。整个接头可明显分为不锈钢侧扩散区、钎缝区及铝合金侧扩散区等 3 部分,其中在钎缝区存在一处缺陷(将在后文描述)。

3 接头微观组织分析

铝合金侧扩散区为典型的 LD2 铝合金锻铝组织,靠近钎焊缝区域存在一定的元素扩散;不锈钢侧为典型的 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢组织,靠近钢 / 铝界面区的区域存在一定元素扩散。上述两区组织特点较为常见,不再重复介绍,本文重点分析钎缝区组织特点。不锈钢与铝合金坩锅炉钎焊接头钎缝区由铝合金钎焊缝及钢 / 铝界面区组成,具体分析如下:

(1) 铝合金钎焊缝。

图 4 所示为由钎缝区与铝合金母材组成的组织过渡区域。从图中可以明显看出,两个区域界线明显,组织形貌差异较大,分别对两个区域进行了能谱分析,分析结果见表 1 所示。与由 Al (基体)、Mg、Si 元素组成的母材相比,钎焊缝为液态钎料与熔化母材共同作用形成的 Al-Si 共晶组织,由于扩散作用的存在,不锈钢中的 Fe、Ni、Zn 等元素向铝合金钎焊缝中发生一定程度扩散。

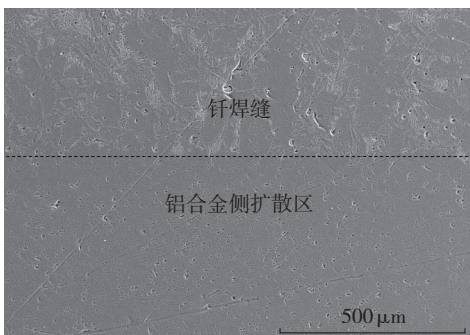


图4 铝合金母材与钎缝交界区 (图3中A区)
Fig.4 Interface of Al alloy and brazing seam

表1 铝合金母材与钎缝成分 (原子百分比) %

元素	铝合金母材	钎缝
Al	97.55	80.69
Si	1.92	18.81
Fe	0.22	0.24
Ni	—	0.15
Zn	—	0.11
Mg	0.31	—
总量	100.00	100

(2) 钢 / 铝界面区。

钢 / 铝界面区位于钎焊缝与不锈钢之间,微观组织形貌如图 5 所示。从图中可以看出,钎焊后在不锈钢与铝合金之间形成了一层较为均匀的金属间化合物层,厚度约 30 μm,能谱分析结果(表 2)显示,该层化合物应为 Al-Fe-Si-Cr/Al-Fe-Si-Ni 四元化合物,其中 Al、Si 元素来自钎料(ZL102 中含 Al、Si),Ni 元素来自镀层(钎焊前不锈钢表面镀镍),Fe、Cr 元素来自不锈钢母材的扩散。资料显示^[3-4],与 Fe-Al 二元金属间化合物相比,Al-Fe-Si-Cr/Al-Fe-Si-Ni 四元金属间化合物脆性显著降低,综合性能较好,成为获得较好钢 / 铝连接接头的基础。

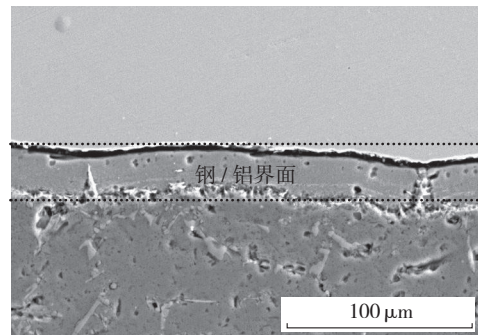


图5 钎缝钢/铝界面层 (图3中B区)
Fig.5 Steel/aluminum interface layer of brazing seam

表2 钢/铝界面层金属间化合物成分 (原子百分比) %

元素	采集点 1	采集点 2	采集点 3	平均
Al	71.76	70.27	72.67	71.57
Si	10.43	11.22	10.14	10.60
Cr	4.95	5.17	4.83	4.98
Mn	0.47	0.52	0.34	0.44
Fe	11.85	12.25	11.35	11.81
Ni	0.54	0.58	0.67	0.60
总量	100.00	100	100	100

(3) 典型缺陷分析。

图3中典型缺陷放大后的形貌见图6所示,分析认为,钎焊过程中,少量未充分排出的钎剂堆积在液态钎料中,钎缝凝固后,形成钎剂残余缺陷。由于坩锅炉钎焊工艺特点所致,钎焊过程中必须使用由卤化物组成的钎剂去除母材表面氧化膜。钎焊后,部分残余钎剂分布在接头钎缝内部,并被凝固的钎缝密封,无法去除,并形成钎剂残余缺陷。

由于钎剂残余缺陷并未影响到钎着率,因此对接头强度及密封性能无直接影响。

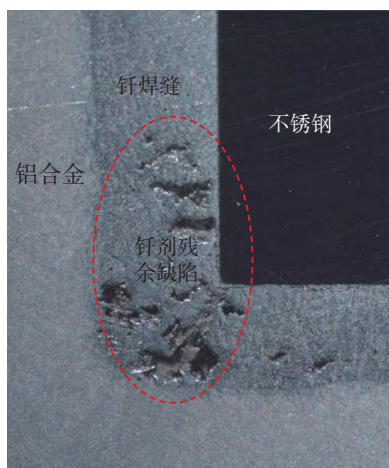


图6 接头内部残余钎剂

Fig.6 Residual brazing flux inside the joint

4 结论

采用坩锅炉钎焊工艺获得的1Cr18Ni9Ti不锈钢与6A02铝合金异种金属钎焊接头外观质量良好,焊脚饱满。钎焊接头由铝合金扩散区、钎缝区(铝合金钎焊缝与钢/铝界面区构成)及不锈钢扩散区组成。其中铝合金钎焊缝主体为Al-Si共晶组织,并存在少量Fe、Cr等元素;钢/铝界面区主要由Al-Fe-Si-Cr/Al-Fe-Si-Ni四元化合物组成。此外,钎缝内部存在一定程度的钎剂残余缺陷,无法去除。

参考文献

- [1] 冯吉才,何鹏,张洪涛. 铝钢异种金属预涂层连接方法: 中国,200810064272. 2.
- [2] 宋建岭,林三宝,杨春利,等. 铝合金/不锈钢预涂层钨极氩弧熔钎焊接头的特性. 中国有色金属学报,2009,19(7): 1209-1215.
- [3] 雷振,于宁,游爱清,等. 5A02/Q235 钢 Nd: YAG 激光—脉冲 MIG 复合热源熔钎连接. 焊接学报,2008,29(7): 21-28.
- [4] 里亚博夫 B P. 铝及铝合金与其他金属的焊接. 北京: 宇航出版社,1990.

(责编 亿霖)

(上接第 28 页)

材料的塑性流动,随着转速的提高,温度也就会越来越高^[1],高热输入就会提供给位错运动更多的能量,残余应力将很有可能得以释放。在比较低的焊速下,单位长度上的热输入量比较高,在远离焊缝区的材料也被加热,这就导致了在搅拌头周围的高温区的宽度增加,进而减小了热梯度,热膨胀不匹配程度也在冷却过程中得以降低,从而表现出较低的残余应力,随着焊速的提高,单位长度上的热输入量逐渐减小,峰值残余应力也就会逐渐地升高。

4 结论

(1) 上表面的纵向残余应力呈现双峰值,峰值出现在轴肩两侧边缘,不对称分布,前进侧残余拉应力普遍高于后退侧;下表面呈现单峰值,峰值出现在焊缝中心偏于前进侧的附近位置。

(2) 温度和顶锻力的共同作用造成了下表面的残余应力峰值普遍高于上表面,在所试验的焊接条件下,上表面残余应力峰值在 130~187MPa 范围内变化,下表面残余应力峰值在 150~202MPa 范围内变化。

(3) 上下两表面的残余应力有着相同的变化规律,当焊速为 300mm/min 不变,转速在 400~1200r/min 变化时,上下两表面的残余应力峰值都会逐渐减小;当转速为 1000r/min 不变,焊速在 100~300mm/min 逐渐增加时,上下两表面的残余应力峰值会逐渐增大,即上下表面的纵向残余应力峰值会随着热输入量的增加而减小。

参考文献

- [1] 周万盛,姚君山. 铝及铝合金的焊接. 北京: 机械工业出版社,2006:321-337.
- [2] Enomoto M. Application of friction stir welding for Al alloy. Light Metal Welding and Construction, 1998, 36(2): 75-79.
- [3] Staron P, Kocak M, Williams M, et al. Residual stress distributions in friction stir welded AL sheets determined by neutron strain scanning//ASM Proceedings of the International Conference: Trends in Welding Research, 2002: 253-256.
- [4] 李亭,史清宇,李红克,等. 铝合金搅拌摩擦焊接头残余应力分布. 焊接学报,2007,28(6):105-108.
- [5] Lombard H, Hattingh D G, Steuwer A, et al. Effect of process parameters on the residual stresses in AA5083-H321 friction stir welds. Material Science and Engineering, 2009, 501(1): 119-124.
- [6] Terasaki T, Akiyama T. Mechanical behavior of joints in FSW residual stress, inherent strain and heat input generated by friction stir welding. Welding in the World, 2003, 47(11-12): 24-31.
- [7] Xu W F, Liu J H, Zhu H Q. Analysis of residual stresses in thick aluminum friction stir welded butt joints. Materials and Design, 2011, 32(4): 2000-2005.

(责编 良辰)