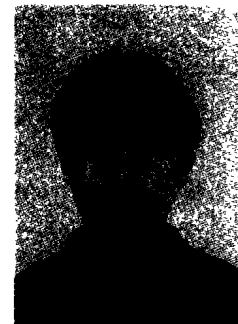


镁合金活性 TIG 焊焊接接头组织特征分析

张兆栋, 刘黎明, 王 来

(大连理工大学 材料工程系, 辽宁 大连 116024)



张兆栋

摘 要: 对活性化焊接(A-TIG)方法在镁合金焊接中的应用进行了初步的探讨。选取 TiO_2 作为活性剂,研究了单一活性剂 TiO_2 对镁合金焊接后微观组织的影响。试验结果表明,涂敷单一活性剂 TiO_2 可以使焊缝熔深比常规的TIG焊增加2倍。与未涂敷活性剂的焊缝相比,涂敷 TiO_2 活性剂可以增大焊接的熔深,减小熔宽。

关键词: 镁合金; 活性TIG焊; 活性剂; 熔深

中图分类号: TG 401 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2004)04-55-04

0 序 言

镁及其合金具有高弹性模量、高强度质量比,因此作为结构件在航空、航天等工业中的应用越来越广泛。目前,在这些领域的应用中,结构件大部分以铸造产品的方式应用,变形产品较少。近年来,由于镁合金在汽车和摩托车上的应用推动了变形镁合金的发展,而且变形镁合金与铸造镁合金相比具有更高的强度、更好的塑韧性和优良的综合性能,更适合于制作大型结构件和满足多样化的需求。变形镁合金作为结构件的广泛应用,必将面临连接问题,而焊接将是一种优选的连接方法。

活性化焊接(Activating flux-TIG,简称A-TIG)方法是使用特殊研制的活化材料(活性剂)焊前涂敷到被焊工件表面,在焊接规范参数不变的情况下,与常规的TIG焊相比,增大焊接熔深1倍以上,而且并不增加正面焊缝宽度。它起初由前苏联巴顿焊接研究所在20世纪60年代研制,但是直到20世纪90年代末期才在欧美国家的研究机构(如EWI和TWI等)开展广泛的研究^[1,2]。例如,在活性化焊接作用机理研究方面,国外已经提出了熔池表面张力影响理论和电弧收缩影响理论^[3,4]。国内学者对钛合金、不锈钢等材料的活性焊接工艺进行了研究^[5,6]。

作者针对变形AZ31B镁合金板材,选取 TiO_2 作为活性剂,研究了涂敷活性剂 TiO_2 对镁合金焊接后接头的微观组织形态、元素分布的影响,为研究镁合

金A-TIG焊工艺及机理奠定理论基础。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验材料

试验采用尺寸100 mm×50 mm的AZ31B变形镁合金板材,进行平板堆焊,板材的厚度为5 mm,其化学成分如表1所示。

表1 AZ31B变形镁合金板材的化学成分(质量分数,%)
Table 1 Chemical components of base metal

Al	Zn	Mn	Si	Mg
3.00	0.90	0.31	0.02	余量

1.2 试验方法

TiO_2 粉末经过烘干、研磨、过筛到200目,用精度为0.01 mg的电子天平称取活性剂,然后与丙酮混合成溶液作为活性剂备用,通过调节丙酮的质量分数来调节浓度。焊接前将镁合金板材的表面仔细清理、清洗后将活性剂均匀地涂敷到材料的表面,为了便于和未涂敷活性剂时相比较,焊道只涂刷一半,示意图见图1。涂敷宽度为40 mm左右,待丙酮完全挥发后,将涂敷区和未涂敷区一次焊接完成。所用的焊接规范见表2,采用交流氩弧焊。试验装置采用的是自动氩弧焊装置,将氩弧焊枪固定,工件置于可以水平移动的工作平台上,使得在焊接过程中弧长不发生变化,并且焊接速度稳定不变,以保证焊接工艺过程的稳定性。

焊接后分别截取涂敷区和未涂敷区试样焊道的横截面,采用标准金相制备方法制备金相试样,然后

在金相显微镜、扫描电镜和电子探针等设备下进行观察,分析其结果。

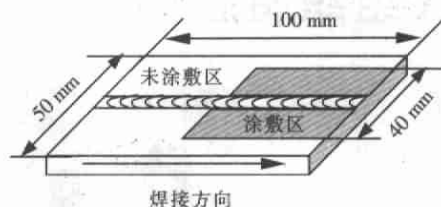


图 1 试样 TIG/A-TIG 涂敷示意图

Fig. 1 TIG/A-TIG welding trails

表 2 试验中采用的焊接规范

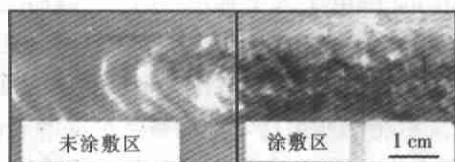
Table 2 Welding parameters used in welding magnesium alloy

电流 I/A	焊接速度 $v_w/(mm \cdot min^{-1})$	弧长 L/mm	电极直径 D/mm
120	500	2	1.6

2 试验结果

2.1 焊缝外观形貌

图 2a 为单一活性剂 TiO_2 涂敷焊接后焊缝正面的宏观形貌,图中的焊接方向从左向右,黑线左面没有涂敷活性剂,右边涂敷了活性剂。由图可见,与未涂敷区相比,焊道在涂敷区稍稍变窄,出现轻微的咬边现象,正面焊道凹陷,且焊道正表面存在黑色的点状熔渣。图 2b 为单一活性剂 TiO_2 涂敷焊接后焊缝背面的宏观形貌,在涂敷区试样焊透,而在未涂敷区试样没有焊透。背面焊道可以成形,余高在 2 mm 左右。在相同的焊接规范下,未涂敷活性剂的焊缝熔深为 3 mm 左右,涂敷活性剂的焊缝熔深为 6 mm



(a) 焊缝正面



(b) 焊缝背面

图 2 焊接正面(a)与背面(b)的宏观形貌

Fig. 2 Appearance of weld

左右,涂敷活性剂的焊缝的熔宽比未涂敷活性剂的焊缝的熔宽略有减小,涂敷活性剂和未涂敷活性剂焊道的熔池截面形状如图 3 所示。



(a) 未涂敷



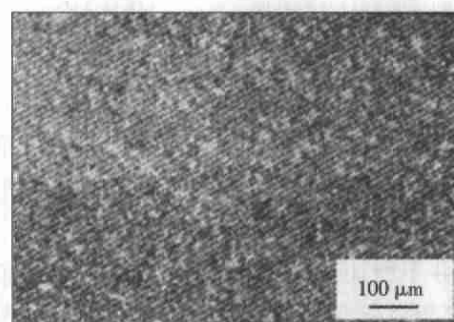
(b) 涂敷

图 3 焊缝熔深的金相照片

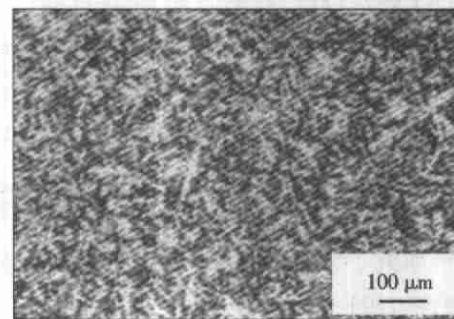
Fig. 3 Photographs of weld penetration

2.2 焊缝组织特征分析

图 4a 为未涂敷活性剂焊缝的金相照片,图 4b



(a) 未涂敷



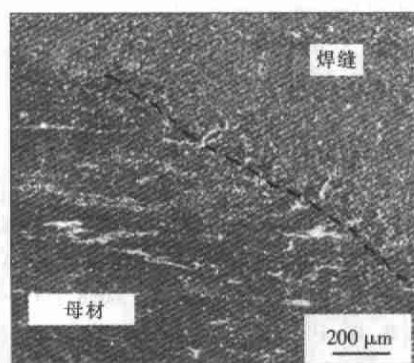
(b) 涂敷

图 4 焊缝的金相显微镜照片

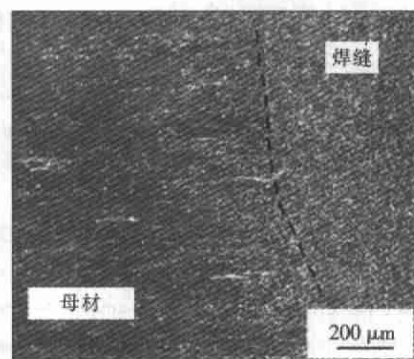
Fig. 4 Microstructure of weld

为涂敷活性剂后焊缝的金相照片。从图中可以看出,涂敷活性剂焊缝的组织与未涂敷活性剂焊缝的组织并没有明显的区别,只是略有粗化。

采用扫描电镜进一步分析熔合线附近的组织特征,图5是熔合线附近的扫描电镜照片,图5a为未涂敷活性剂焊缝,图5b为涂敷活性剂焊缝,图中虚线所指即为熔合线。从图中可以看出这两种焊缝的熔合线两侧结合良好,没有裂纹、气孔、夹渣等焊接缺陷。



(a) 未涂敷



(b) 涂敷

图5 熔合线附近的扫描电镜照片
Fig.5 Microstructure of bond area

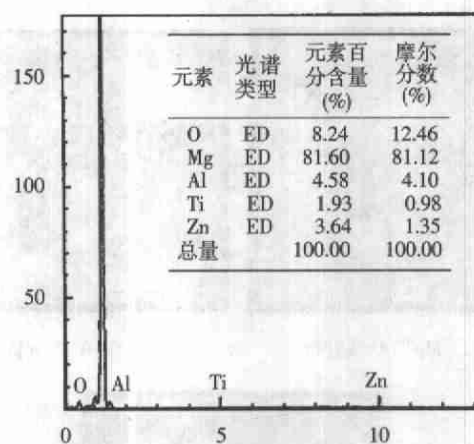
从以上试验可以看出,总体来看,涂敷活性剂后对焊缝组织的影响不大。涂敷活性剂后并没有引起焊缝结合的劣化。组织的粗化可能是由于活性剂的存在吸收部分热量使得焊缝熔池冷却速度降低引起的,或者是由于活性剂中Ti元素的加入引起焊缝组织的微小变化,这需要进行进一步的试验来证明。

2.3 焊接接头元素分析

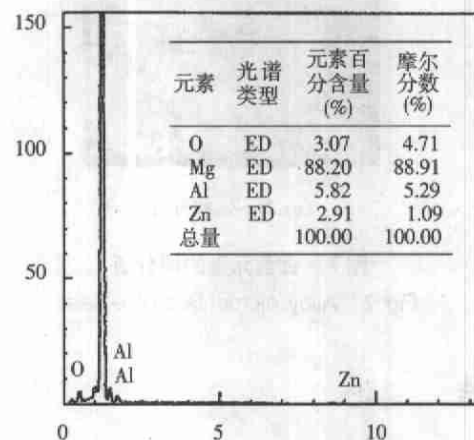
试验中对涂敷活性剂焊接后活性剂TiO₂中Ti元素在焊缝中的分布状况以及焊缝中其它元素的分布状况进行了分析,为进一步研究活性剂增加熔深的机理奠定基础。

采用能谱(EDX)分析了涂敷活性剂焊缝纵截面上部和中部的元素种类。其结果见图6,图6a为

焊缝正表面附近区域的EDX分析,图6b为焊缝中部区域的EDX分析。从上图的EDX分析结果可以看出,在焊缝纵截面上部存在Ti元素,而在焊缝纵截面中部没有Ti元素的存在。说明活性剂对焊缝与焊缝表面熔池发生了作用,并使得熔深增加。



(a) 焊缝上部



(b) 焊缝中部

图6 涂敷活性剂时焊缝的EDX分析
Fig.6 EDX analysis of weld with fluxes

为了观察涂敷TiO₂活性剂对焊缝区元素的分布的影响,利用电子探针对焊接接头区中的主要元素Mg、Al、Zn,以及活性剂TiO₂包含的Ti、O等元素进行了元素含量线分析测试(见图7)。由于Ti元素只分布在焊缝上表面附近的区域,试验中所检测的位置是涂敷活性剂焊缝上表面附近的微区,面积大小为256 μm × 256 μm,在这个范围内均可以检测到Ti元素的存在。图7为涂敷TiO₂活性剂后焊缝上表面附近的元素线分析结果。图中箭头指的是焊缝上表面。图中白色基体为Mg元素。从图7a中可以看出Ti元素的分布比较均匀,呈弥散分布状态。另外,对焊缝进行X射线衍射分析没有检测到

Ti 的化合物,说明活性剂与焊缝熔池没有发生明显的冶金反应。从 Al 元素含量线分析(见图 7b),可以看出 Al 元素存在成分偏析现象。从图 7c 中可以看出 Zn 元素同样存在这种偏析现象,这种 Al、Zn 元素的偏析现象与文献[7]中的结果相同,说明这种现象并不是由于活性剂的存在而引起的。

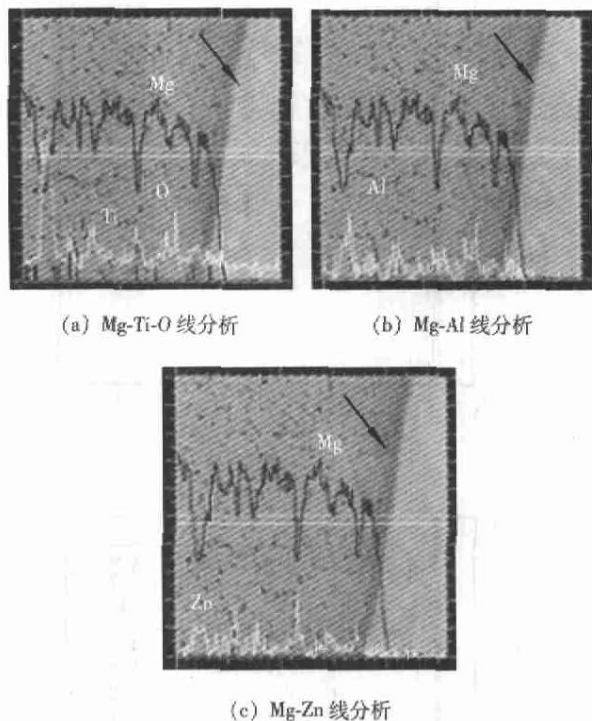


图7 合金元素的线分析

Fig.7 Alloy elements profile data

3 结 论

(1) 活性焊剂可以显著增加镁合金焊接熔深,在此试验条件下单一活性剂 TiO_2 可以使焊缝熔深比常规的 TIG 焊增加 2 倍左右。

(2) 镁合金涂敷活性剂后焊缝接头的微观组织与未涂敷时焊缝接头的微观组织没有明显区别,焊

缝的熔合线两侧结合良好,没有裂纹、气孔、夹渣等焊接缺陷。

(3) 镁合金涂敷 TiO_2 活性剂后, Ti 元素只分布于焊缝上表面附近,呈弥散分布状态,在镁合金焊缝中部、下部没有 Ti 元素存在。

参考文献:

- [1] Lucas W, Howse D. Activating flux-increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes[J]. *Welding and Metal Fabrication*, 1996, 64(1):11-17.
- [2] Lucas W. Activating flux-improving the performance of the TIG process[J]. *Welding and Metal Fabrication*, 2000, 68(2):6-10.
- [3] Dunn G J, Allemand C D, Egger T W. Metal vapors in gas tungsten arcs: part I. spectroscopy and monochromatic photography[J]. *Metallurgical Transactions A*, 1986, 17(10):1851-1863.
- [4] Heiple C R, Rooper J T. Effect of selenium on GTAW fusion zone geometry[J]. *Welding Journal*, 1981, 60(8):143-145.
- [5] Zhang R, Fan D. Weldability of activating flux in A-TIG welding for mild steel[J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2003, 24(1):85-87, 90.
张瑞华,樊丁. 低碳钢 A-TIG 焊活性剂的焊接性[J]. *焊接学报*, 2003, 24(1):85-87, 90.
- [6] Liu F, Lin S, Yang C, et al. Effect of activating fluxes on weld form in TIG welding of stainless steel and titanium alloy[J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2002, 23(1):1-4.
刘凤尧,杨春利,林三宝,等. 活性化 TIG 焊熔深增加机理的研究[J]. *焊接学报*, 2002, 23(1):1-4.
- [7] Miao Y, Liu L, Zhao J, et al. Microstructure feature analysis of fusion welded joint of wrought Mg-alloy[J]. *Transaction of the China Welding Institution*, 2003, 24(2):63-66.
苗玉刚,刘黎明,赵杰,等. 变形镁合金熔焊接头组织特征分析[J]. *焊接学报*, 2003, 24(2):63-66.

作者简介: 张兆栋,男,1981年1月出生,博士研究生。研究方向为镁合金活性焊剂与机理,发表论文1篇。

Email: liulm@dlut.edu.cn

[上接第54页]

在一定数值范围时焊接效果较理想,从而确定了中值波形控制方法及其相匹配的工艺参数。

参考文献:

- [1] Amin M. Synergic pulse MIG welding[J]. *Metal Construction*, 1981, 13(6):349-353.
- [2] Essers W G, Van Gompel M R M. Arc control with pulsed GMA welding[J]. *Welding Journal*, 1984, 63(6):26-32.
- [3] Jiluan Pan, Zhiming Ou, Zhiqiang Wu, et al. Pulsed inert gas metal arc welding with feed back control[J]. *Schweissen und*

Schneiden, 1985, 37(4):54-55.

- [4] 蒙永民. GMAW-P 焊熔滴过渡模糊控制的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2001.
- [5] Rajasekaran S. Droplet detachment and plate fusion characteristics in pulsed current gas metal arc welding[J]. *Welding Journal*, 1996, 75(6):254s-268s.
- [6] 黄石生. 新型弧焊电源及其智能控制[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.

作者简介: 吴开源,男,1978年出生,博士研究生。研究方向为电力电子技术、弧焊逆变电源及其智能控制,发表论文8篇。

Email: scutwky2000@163.com