

AZ31 镁合金活性 TIG 焊接头分析

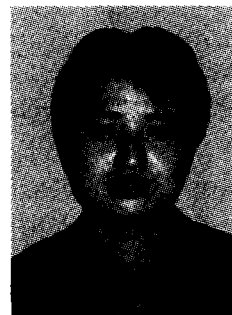
徐 杰, 刘子利, 沈以赴, 陈文华

(南京航空航天大学 材料科学与技术学院, 南京 210016)

摘 要: 针对 AZ31 镁合金材料, 研究了在 A - TIG 焊中单一成分的活性剂对焊缝成形的影响。试验结果表明, 与无活性剂的焊缝相比, 活性剂 TiO_2 、 SiO_2 、 Cr_2O_3 、 CdCl_2 和 CaCl_2 能够有效地增加镁合金焊缝的熔深和深宽比。镁合金涂敷活性剂 CdCl_2 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, 只是前者热影响区稍宽。未涂敷活性剂和涂敷 CdCl_2 的试样硬度值分布相差不大。在 AZ31 镁合金的焊接中, 活性剂 CdCl_2 的作用效果最好。

关键词: 活性化 TIG 焊; AZ31; 熔深; 深宽比

中图分类号: TG457.19 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2005)10-54-05



徐 杰

0 序 言

镁合金由于具有储量丰富、密度小、比强度高、比刚度大、阻尼性很好、导热性好、电磁屏蔽能力强、加工成形好和可回收利用等一系列优点, 不仅在航空航天工业等尖端领域中广泛应用, 而且还在汽车、电子通讯等日常制造业中正得到日益广泛的应用。镁合金的广泛使用, 要解决的关键技术之一就是连接问题, 焊接无疑是首选的一种先进的连接方法。

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, 在焊接工艺参数不变的情况下, 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]。国内学者对低碳钢、不锈钢等材料的活性焊接工艺进行了研究^[5,6], 但关于镁合金的活性 TIG 焊的研究则很少, Marya^[7] 研究了单一氯化物活性剂对 AZ21 镁合金焊接后熔深、熔宽、深宽比和焊缝微观组织的影响, 文献[8]研究了单一活性剂 TiO_2 对 AZ31 镁合金焊接后熔深和焊缝微观组织的影响。

作者主要针对 AZ31 镁合金, 试验研究了几种不同的活性剂对焊缝成形、熔深、熔宽和深宽比的影响, 并观察了焊接接头的宏观截面金相和微观组织, 测量了未涂敷活性剂和涂敷活性剂 CdCl_2 接头的硬度值分布。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验材料

试验用活性剂为单一成分的氧化物 (TiO_2 、 SiO_2 和 Cr_2O_3) 和氯化物 (CdCl_2 和 CaCl_2), TIG 焊板材为 AZ31 镁合金, 试件的尺寸为 90 mm × 40 mm × 4 mm, 填充焊丝材料为 AZ31 镁合金, 直径为 $\phi 2.5$ mm。

1.2 试验方法

试验采用自行设计的有机溶液将活性剂粉末配置成一定浓度的溶液, 均匀地涂敷于试件上, 如图 1 所示。试验采用交流 TIG 焊堆焊, 所用焊接工艺参数如表 1 所示。



图 1 A - TIG 焊试验过程示意图

Fig. 1 Schematic of specimen used in A-TIG welding

表 1 焊接镁合金的工艺参数

Table 1 Welding parameters used in welding magnesium alloy

焊接电流 I/A	焊接速度 $v/(mm \cdot min^{-1})$	氩气流量 $q/(L \cdot min^{-1})$	弧长 L/mm	电极直径 D/mm	电极角度 $\theta(^{\circ})$
70	270	8	2	2.5	60

2 试验结果

2.1 活性剂对焊缝形成的影响

图 2 为未涂敷活性剂和涂敷不同成分的活性剂焊缝成形的照片,对于涂敷活性剂的试样,涂敷量均为 1.5 mg/cm^2 。可以看出,涂敷 TiO_2 活性剂的焊缝,焊道宽度较未涂敷的焊缝变窄,焊道余高变高,涂敷 SiO_2 和 Cr_2O_3 的焊缝宽度与未涂敷的焊缝宽度差不多,焊道余高也变高;涂敷氯化物活性剂的焊缝,焊道宽度较未涂敷的焊缝稍微变宽,涂敷 CaCl_2 的焊缝较为平滑,涂敷 CdCl_2 的焊道余高变高。

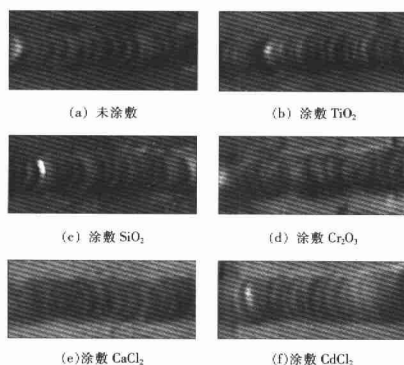


图 2 不同种类活性剂涂敷量对焊缝形成的影响

Fig. 2 Effect of flux coating quantity on weld appearance

2.2 活性剂及焊接参数对熔深和熔宽及深宽比的影响

图 3 为无活性剂和不同活性剂对焊道熔深的影响,图 4 为无活性剂和不同活性剂对焊道熔宽的影响,图 5 为无活性剂和不同活性剂对焊道深宽比的影响。从图 3 可以看出,使用活性剂大都可使焊缝熔深增加,从图 5 可以看出,使用氯化物活性剂对 AZ31 镁合金焊道深宽比的影响较大, CdCl_2 的影响最强。

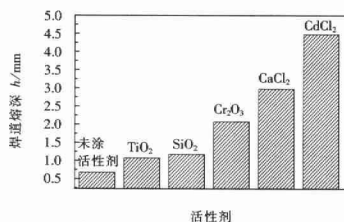


图 3 无活性剂和不同活性剂的熔深

Fig. 3 Weld penetration without and with flux

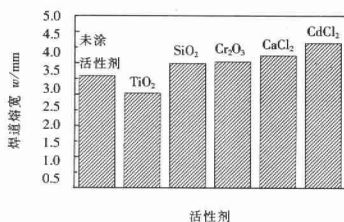


图 4 无活性剂和不同活性剂的熔宽

Fig. 4 Weld width without and with flux

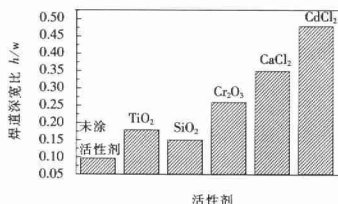


图 5 无活性剂和不同活性剂的深宽比

Fig. 5 h/w of welds without and with flux

未涂敷活性剂和涂敷活性剂焊道的熔池截面形状如图 6 所示。从图中可以看出,涂敷氯化物和氯化物活性剂均可增加焊缝熔深,涂敷氯化物活性剂增加熔深的效果优于涂敷氧化物活性剂的效果。涂

敷 TiO_2 可以减小熔宽, 涂敷 SiO_2 和 Cr_2O_3 焊缝的熔宽与未涂敷活性剂的焊缝的熔宽差不多, 涂敷氯化物活性剂则稍微增加了焊缝的熔宽。

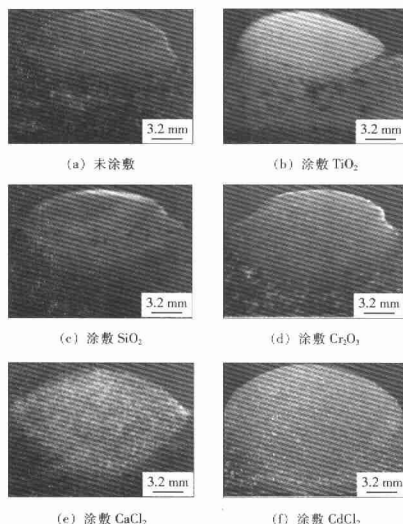


图6 焊缝熔深的金相照片

Fig.6 Photographs of weld penetration

2.3 焊接接头的微观组织金相观察

图7a为未涂敷活性剂的焊接接头组织照片, 从图中可以看出焊缝区与热影响区的分界较为明显。热影响区是典型的过热组织, 晶粒较粗大; 而焊缝区的晶粒则明显比母材和热影响区的细小, 是典型的铸造急冷组织。进一步观察焊缝区的组织形貌(见图8a), 发现焊缝区由细小的等轴晶组成。从图7a中可以看出母材晶粒呈纤维状, 显然是晶粒经过变形后的组织。接头处出现上述组织, 主要是与TIG焊接热循环过程和镁合金的物理特性有关。在焊接过程中, 焊缝区的母材吸收大量的热而熔化, 凝固时由于镁合金的导热系数大, 散热快, 促进了焊缝区金属的快速凝固结晶, 从而导致了焊缝区的晶粒细化, 因此在焊缝区得到细小的等轴晶。热影响区晶粒粗大且较宽, 则是由于镁合金的熔点低, 导热快, 焊接加热时需要大功率, 热影响区宽且易于过热, 吸收的热量使热影响区的组织发生晶粒长大, 从而导致了热影响区的组织晶粒粗大。另外, 由于母材的晶粒是经过轧制变形后得到的, 晶粒极不稳定, 受热作用

后晶粒急剧长大, 这也是引起热影响区晶粒粗大的原因之一。图7b为涂敷 CdCl_2 的接头组织照片, 可以发现其热影响区比未涂敷活性剂的接头的热影响区宽, 这主要是由于活性剂与电弧作用增大了电弧的热输入值所致。图8b为涂敷 CdCl_2 的焊缝区的组织形貌, 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。

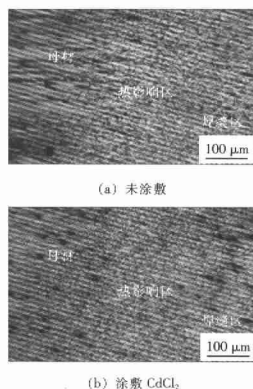


图7 焊缝显微组织的金相照片

Fig.7 Microstructure of weld

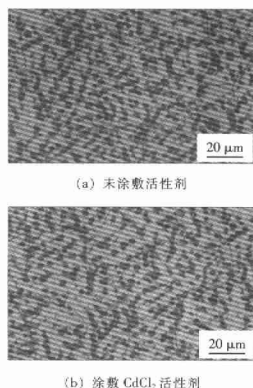


图8 焊缝的金相显微照片

Fig.8 Microstructure of weld

2.4 焊接接头的硬度分布

图 9 为焊接接头的硬度值分布图,两条曲线分别为未涂敷活性剂和涂敷 CdCl₂ 的试样的硬度值分布。从图 9 中可以看出,两条曲线的相差不大,这说明了活性剂涂敷对焊接接头的力学性能影响不大。两条曲线的硬度值都分布在 47~60HV 之间,在热影响区硬度值有所减小,这主要是由于热影响区晶粒组织长大所致,焊缝区的硬度稍大于母材,主要是由于焊接过程使得焊缝区得到等轴细晶组织,由于晶粒较母材细小,所以根据 Hall-Petch 公式,焊缝区的硬度值较大。未涂敷活性剂的试样的热影响区宽度为 0.5 mm 左右,涂敷 CdCl₂ 的试样的热影响区较宽,为 0.7 mm 左右。

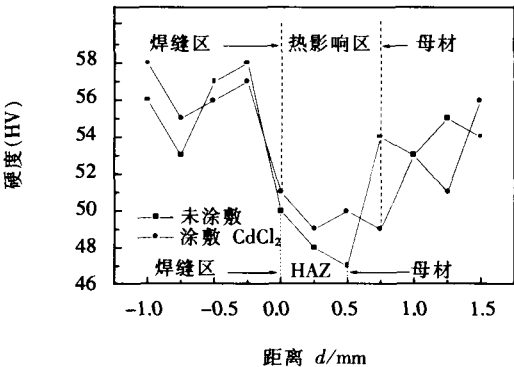


图 9 焊接接头硬度值分布图
Fig.9 Microhardness distribution of weld

3 讨 论

A-TIG 焊熔深变化的机理在于所用活性剂与 TIG 电弧相互作用。对于氧化物活性剂,由于其阴离子完全相同,使用 A-TIG 焊增加熔深的效果应是阳离子的不同造成的。考虑到电弧等离子体中的电流有 99% 是由金属元素提供电子运动完成的,因此可以判断 A-TIG 焊时熔深的增加应与活性剂中不同阳离子与电弧的作用有着密切的关系。表 2 列出了几种典型阳离子元素的各级电离能^[9]。由表 2 可以看出 TiO₂、SiO₂、Cr₂O₃ 等活性剂中的各阳离子 Ti⁴⁺、Si⁴⁺、Cr³⁺ 在 Ar 电弧中进一步电离所需要的电离能比 Ar 的第一电离能高得多,所以这些阳离子将会自发的与电弧等离子体中的电子 e 复合,并且复合后的低价阳离子能在较长时间内,稳定地存在于电弧等离子体中。这一复合过程一方面使电弧等离子体向电弧轴线中下部收缩,增加电流密度。另一方面,破坏了等离子体的电中性平衡,使更多的

Ar 原子电离以恢复等离子体的电中性,即 Ar 电弧的电离度将增加。在压力和电离电位不变的条件下,电离度的增加将使得电弧温度增加^[10]。与 TIG 焊电弧相比,由于 A-TIG 电弧体积的减小和电弧温度的增加,其电弧压力增加,从而使 A-TIG 焊的熔池深度增加。

表 2 在 20℃ 及 101.325 kPa 条件下测得不同元素的各级电离能 E/(kJ·mol⁻¹)
Table 2 Ionization potentials of various kinds of elements under 20℃, 101.325 kPa

元素	第一电离能	第二电离能	第三电离能	第四电离能	第五电离能
Ar	1 520.6	2 665.8	3 931	5 771	7 238
Ti	658.8	1 309.8	2 652.5	4 174.6	9 581
Si	786.5	1 577.1	3 231.6	4 355.5	16 091
Cr	652.9	1 590.6	2 987	4 743	6 792
Ca	589.8	1 145.4	4 912.4	6 491	8 153
Cd	867.8	1 631.4	3 616	—	—

涂敷 CdCl₂ 和 CaCl₂ 增加焊缝熔深,主要由于 Cd 和 Ca 的第一电离能较高(表 2 中给出),CdCl₂ 和 CaCl₂ 的熔点、沸点和分解温度低,因而在电弧内形成了大量的电离离子,从而增加了电弧电压和电弧温度,同时增大了焊接方向上电弧的宽度,使得焊接过程中在增大热输入的同时伴随着热流的重新分布。熔合区深度的提高可以获得更大的深宽比。Cd 的第一电离能又高于 Ca 的第一电离能,电弧电压和弧温更高,焊接过程中热输入值更大,所以增加熔深的效果比 CaCl₂ 还明显。Marya^[7] 所做的试验也观测并证实了涂敷氯化物增加了电弧电压和电弧温度。

4 结 论

- (1) 在对 AZ31 镁合金堆焊试验中,氧化物作为活性剂可小幅度地增加焊缝的熔深;氯化物作为活性剂增加焊缝熔深的效果相当明显。
- (2) CdCl₂ 增加焊缝熔深的效果相当明显,常规的 TIG 焊焊缝熔深为 0.7 mm,而涂敷 CdCl₂ 的焊缝熔深为 4.5 mm。
- (3) 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,只

是前者热影响区稍宽。未涂敷活性剂和涂敷 CdCl_2 的试样的硬度值分布相差不大。

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. 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 Ruihua, Fan Qing. Weldability of activating flux in A-TIG welding for mild steel[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2003, 24(1): 85-87.
- 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.
- [6] 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]. 金属学报, 2003, 39(6): 661-665.
- [7] Marya M, Edwardz G R. Chloride contributions in flux-assisted GTA welding of magnesium alloys[J]. Welding Journal, 2002, 81(12): 291-298.
- [8] Zhang Zhaodong, Liu Liming, Wang Lai. Microstructure feature analysis of activating TIG welded joint[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2004, 25(4): 55-58.
- 张兆栋, 刘黎明, 王 来, 等. 镁合金活性 TIG 焊焊接接头特征组织分析[J]. 焊接学报, 2004, 25(4): 55-58.
- [9] 朱士尧. 等离子体物理基础[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 19-37.
- [10] 张赋升, 马铁军, 李京龙, 等. A-TIG 焊电弧的动态研究[J]. 电焊机, 2003, 33(12): 17-19.

作者简介: 徐 杰,男,1980 年出生,硕士研究生。研究方向为镁合金的连接技术,发表论文 2 篇。

Email: jay_bmw@sina.com