

AZ31 镁合金 A - TIG 焊的研究

徐杰 刘子利 沈以赴 刘仕福

(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,研究了在 A - TIG 焊中单一成分的活性剂和涂敷量对焊缝成形的影响。结果表明,与无活性剂的焊缝相比,活性剂 TiO_2 、 SiO_2 、 C_2F_6 、 CdCl_2 和 CaCl_2 能够有效地增加镁合金焊缝的熔深和深宽比。但涂敷有氟化物的镁合金焊缝熔深没有增加,涂敷 CaF_2 的焊缝甚至出现开裂现象。在 AZ31 镁合金的焊接中,活性剂 CdCl_2 的效果最好。

关键词 A - TIG 焊, AZ31, 熔深, 深宽比

A - TIG Welding of AZ31 Magnesium Alloy

Xu Jie Liu Zili Shen Yifu Liu Shifu

(College of Material Science and Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract The effect of activating fluxes with single component on weld forming during the A - TIG welding of AZ31 magnesium alloy is studied in this paper. The experimental results show that, compared with weld made without flux, the weld bead penetration and weld depth to width ratio are greatly increased after applying flux TiO_2 , SiO_2 , C_2F_6 , CdCl_2 and CaCl_2 for magnesium alloy. However, the flux fluoride is not useful for the weld penetration, and weld coated with flux CaF_2 is cracked. As for the AZ31 magnesium alloy, the effect of flux CdCl_2 is the best.

Key words A - TIG welding, AZ31, Weld penetration depth, Weld depth to width ratio

1 前言

镁合金的密度在所有结构用金属及合金材料中是最底的,镁合金具有比强度高、比模量高、减振性、电磁屏蔽和抗辐射能力强、易切削加工及易回收等特点,在航空航天领域有极其重要的价值和广阔的应用前景。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,更适于制作大型结构件和满足多样化的需求。

活性化焊接(A - TIG)是使用特别研制的活性剂焊前涂敷到被焊工件表面,在焊接参数不变的情况下,与常规的 TIG 焊相比,增大焊接熔深 1 倍以上,而且不增加正面焊缝宽度。它由前苏联巴顿焊接研究所在 20 世纪 60 年代研制,直到 90 年代末期

才在欧美国家的研究机构(如 EW 和 TW I 等)开展广泛的研究^[1~2]。在 A - TIG 焊接机理研究方面,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 A - TIG 焊的研究很少, M. Marya 研究了单一氯化物活性剂对 AZ31 镁合金焊接后熔深、熔宽、深宽比和焊缝微观组织的影响^[7],国内的张兆栋等研究了单一活性剂 TiO_2 对 AZ31 镁合金焊接后熔深和焊缝微观组织的影响^[8]。

本文针对 AZ31 镁合金,研究了几种不同的活性剂对焊缝深宽比的影响,并针对活性剂 CdCl_2 , 分别研究了活性剂涂敷量、焊接电流和焊接速度对 AZ31 镁合金 A - TIG 焊缝深宽比的影响。

2 实验

收稿日期: 2005 - 09 - 05

基金项目: 南京航空航天大学科研创新基金资助(Y0485061)

作者简介: 徐杰, 1980 年出生, 硕士, 主要从事镁合金连接的研究工作

2.1 材料

实验用药品均为市售,活性剂为单一成分的氧化物(TiO_2 、 SiO_2 和 Cr_2O_3)、氟化物(CaF_2 、 KF 和 NaF)和氯化物(CdCl_2 和 CaCl_2)。AZ31镁合金试件的尺寸为 $90\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ 。

2.2 方法

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(1.5 mg/cm^2),见图1。采用交流TIG焊重熔,焊接参数见表1。

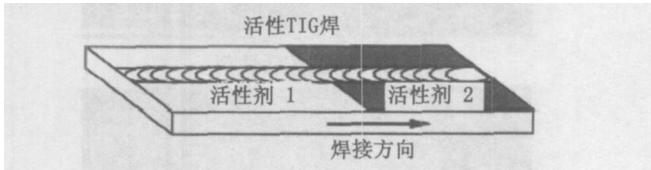


图1 A-TIG焊试验过程示意

Fig 1 Schematic representation of specimen used in A-TIG welding trials

表1 焊接镁合金的参数

Tab 1 Welding parameters used in welding magnesium alloy

焊接电流 / A	焊接速度 / $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	氩气流量 / $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	弧长 / mm	电极直径 / mm	电极角度 / ($^\circ$)
80	270	8	2	2.5	60

3 实验结果

3.1 活性剂对焊缝成形的影响

图2为涂敷不同种类活性剂焊缝成形的照片。

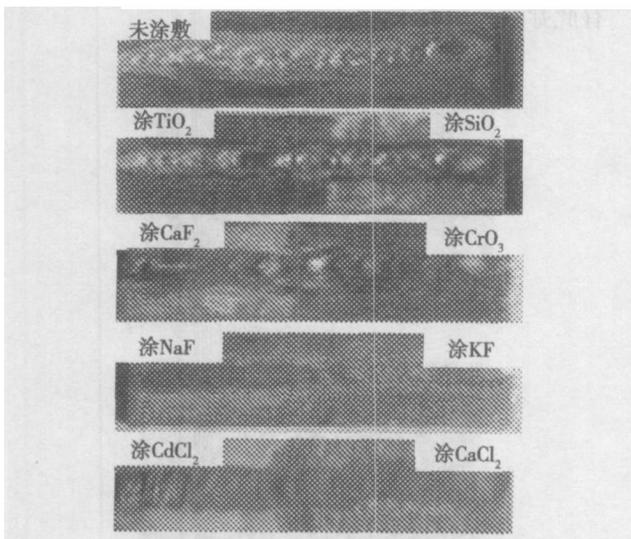


图2 不同种类活性剂对焊缝成形的影响

Fig 2 Effect of flux coating quantity on weld forming

由图可看出:涂敷 TiO_2 、 SiO_2 和 Cr_2O_3 活性剂的焊缝,焊道宽度较涂敷前变窄,焊道余高变高;活性剂宇航材料工艺 2006年 第6期

剂 NaF 、 KF 的焊道成形相当平滑,与无活性剂的焊缝相比,焊道宽度变窄,弧坑变小;涂敷 CaF_2 后,焊缝成形变差,出现开裂现象;涂敷 CdCl_2 和 CaCl_2 后,焊缝明显变窄,焊缝表面较平滑。

3.2 活性剂及焊接参数对熔深和深宽比的影响

图3、图4分别为涂敷活性剂前后对焊道熔深和深宽比的影响。

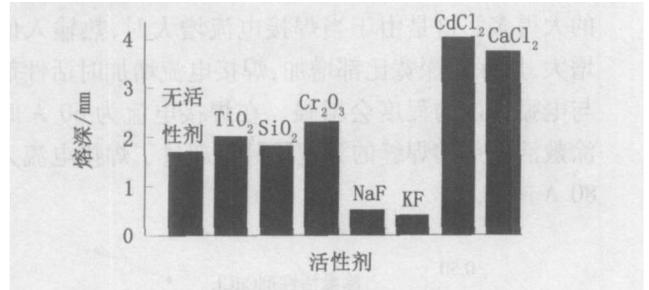


图3 无活性剂和不同活性剂的熔深

Fig 3 Depth of welds coated without and with flux

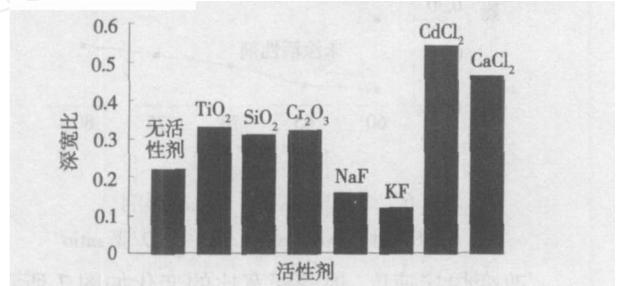


图4 无活性剂和不同活性剂的深宽比

Fig 4 D/W of welds coated without and with flux

从图3和图4可以看出,使用活性剂大多数可使焊缝熔深增加;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。

3.3 CdCl_2 涂敷量、焊接电流、速度对深宽比影响

对于涂敷活性剂 CdCl_2 的试样,不同涂敷量与焊缝深宽比的影响如图5所示。

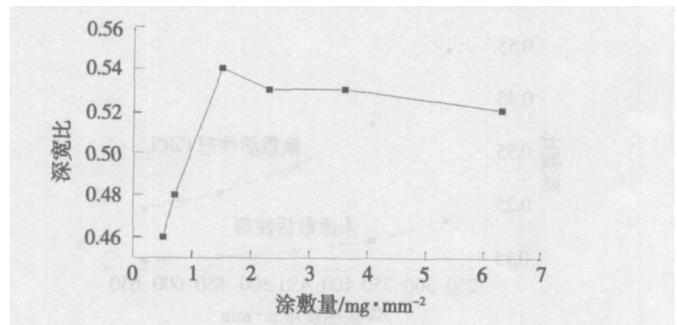


图5 活性剂 CdCl_2 涂敷量对深宽比的影响

Fig 5 Effect of coating quantity of flux CdCl_2 on D/W ratio

可以看出,焊道深宽比随 CdCl_2 涂敷量的增加而增大的变化有一个转折点 ($1.5 \text{ mg}/\text{cm}^2$),超过此点之后,焊缝深宽比缓慢减小。这是由于活性剂涂敷量超过一定量后会饱和,与电弧作用效果反而会减小。

改变焊接电流,从 60 A 增加到 80 A ,焊缝深宽比的变化如图 6 所示。从图中看出,随着焊接电流的增加,涂敷 CdCl_2 的焊道深宽比要比无活性剂时的大得多。这是由于当焊接电流增大时,热输入值增大,熔深和深宽比都增加,焊接电流增加时活性剂与电弧作用的程度会增强。在焊接电流为 60 A 时涂敷活性剂的焊缝的深宽比甚至超过了焊接电流为 80 A 时的。

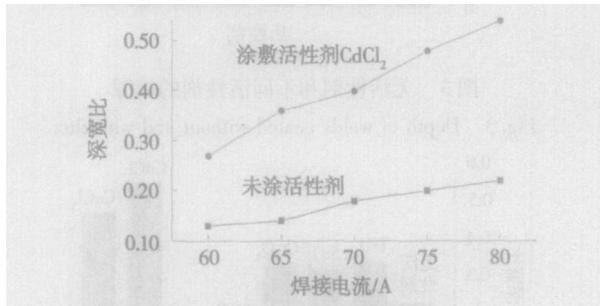


图 6 焊接电流对深宽比的影响

Fig 6 Effect of welding current on D/W ratio

改变焊接速度,焊缝深宽比的变化如图 7 所示。可以看出,随着焊接速度的增加,涂敷 CdCl_2 的焊道的深宽比无活性剂时的减小得更快。这是由于焊接速度增大时,电弧的热输入值减小,所以深宽比减小;焊接速度增加时,单位面积上的活性剂与电弧的作用时间减少,所以增加深宽比的效果会大幅度减小。在焊接速度为 $630 \text{ mm}/\text{min}$ 时涂敷活性剂的焊缝的深宽比超过了焊接速度为 $270 \text{ mm}/\text{min}$ 时的未涂敷活性剂的焊缝的深宽比。

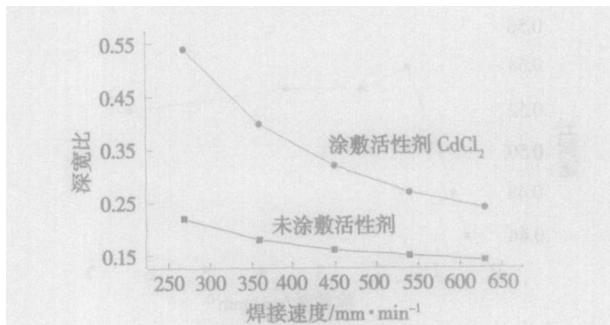


图 7 焊接速度对深宽比的影响

Fig 7 Effect of welding speed on D/W ratio

3.4 焊接接头的金相组织

涂敷活性剂 CdCl_2 前后焊道的熔池截面如图 8 所示。可以看出,涂敷活性剂前后的焊缝的熔深分别为约 2 mm 和 4 mm ,增加熔深效果相当明显。

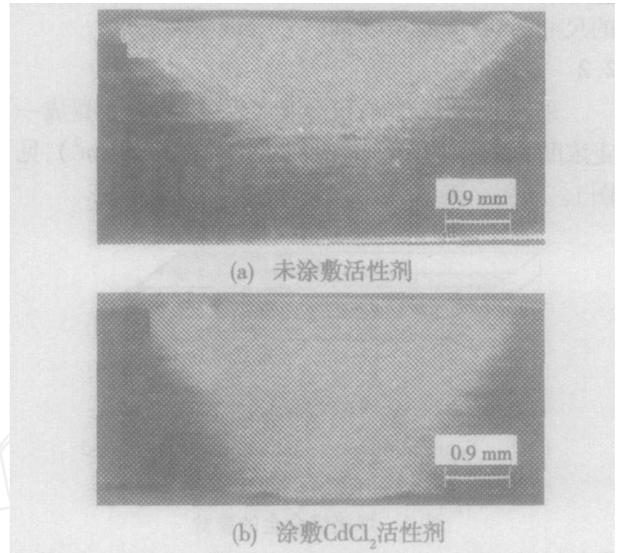
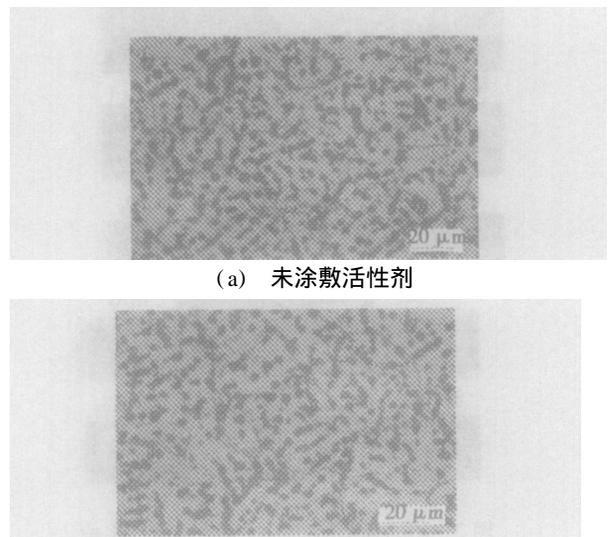


图 8 焊缝熔深的金相照片

Fig 8 Microstructure of weld

图 9 为涂敷 CdCl_2 前后焊缝的金相照片。从图 9 可以看出,涂敷活性剂前后,焊缝的组织无明显区别。图中晶粒内的黑色组织为弥散二次相。吴信辉也发现 AZ31 镁合金钨极氩弧焊的焊缝组织晶粒内有此弥散二次相^[9]。



(a) 未涂敷活性剂

(b) 涂敷 CdCl_2 活性剂

图 9 焊缝的金相显微照片

Fig 9 Microstructure of weld

4 讨论

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。由于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 A - TIG焊时熔深的增加与活性剂中不同阳离子与电弧的作用有密切关系。表 2列出了几种元素的各级电离能^[10]。

表 2 几种元素的各级电离能

Tab 2 Ionization potentials of various kinds of elements

元素	kJ/mol				
	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	1520.6	2665.8	3931	5771	7238
Ti	658.8	1309.8	2652.5	4174.6	9581
Si	786.5	1577.1	3231.6	4355.5	16091
Cr	652.9	1590.6	2987	4743	6792
Ca	589.8	1145.4	4912.4	6491	8153
Cd	867.8	1631.4	3616	-	-

可以看出 TiO_2 、 SiO_2 、 CaF_2 等活性剂中的各阳离子 Ti^{4+} 、 Si^{4+} 、 Ca^{2+} 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^[11]。与 TIG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,从而使其熔深增加。

实验中所选的三种氟化物均不能增加焊缝的熔深,其中涂敷 NaF、KF的焊缝熔深减小,涂敷 CaF_2 的焊缝还出现开裂现象。原因在于氟化物电离电位高,与电子亲和力很大,能夺取电子形成质量大的负离子而恶化电弧燃烧的稳定性^[12]。

涂敷 CdCl_2 可增加焊缝熔深,主要由于 Cd的第一电离能较高, CdCl_2 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,从而增加了焊接电压和电弧温度,同时增大了电弧的宽度,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。M. Marya所做的实验也证实了涂敷氟化物增加了焊接电压和电弧温度^[7]。

5 结论

(1)氧化物活性剂可小幅增加焊缝深宽比;氟化物活性剂没有效果,涂敷 CaF_2 的焊缝甚至出现开裂现象;氟化物活性剂可有效增加焊缝深宽比。

(2) CdCl_2 增加焊缝深宽比的效果相当明显,可使焊缝深宽比比常规的 TIG焊增加 2倍多。

(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。

参考文献

- 1 Lucas W, Howse D. Activating flux increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes. *Welding and Metal Fabrication*, 1996; 64(1): 11 ~ 17
- 2 Lucas W. Activating flux improving the performance of the TIG process. *Welding and Metal Fabrication*, 2000; 68(2): 6 ~ 10
- 3 Dunn G J, Allmand C D, Egger T W. Metal vapors in gas tungsten arcs: part spectroscopy and monochromatic photography. *Metallurgical Transactions A*, 1986; 17(10): 1 851 ~ 1 863
- 4 Heiple C R, Rooper J T. Effect of selenium on GTAW fusion zone geometry. *Welding Journal*, 1981; 60(8): 143 ~ 145
- 5 张瑞华,樊丁. 低碳钢 A - TIG焊活性剂的焊接性. *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. *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. *Welding Journal*, 2002; 81(12): 291 ~ 298
- 8 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. *焊接学报*, 2004; 25(4): 55 ~ 58
- 9 吴信辉. 电子束或电弧焊接镁合金之微织构与机性分析. 台湾:国立中山大学材料研究所, 2003
- 10 张赋升,马铁军,李京龙等. A - TIG焊电弧的动态研究. *电焊机*, 2003; 33(12): 17 ~ 19
- 11 朱士尧. 等离子体物理基础. 北京:科学出版社, 1983: 19 ~ 37
- 12 张清辉. 焊接材料研制理论与技术. 北京:冶金工业出版社, 2002: 7

(编辑 吴坚)