

文章编号:1672-3961(2007)06-0044-05

ChinZA 合金 TIG 焊剂对焊接电弧 及焊缝成型的影响

刘秀忠, 李士同, 伦宁, 杨敏

(山东大学 材料科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘要:研究了 ZA 合金 TIG 焊中不同的焊剂对焊接电弧及焊缝成型的影响. 结果发现:加入 KCl 焊剂电弧形状变化不大;加入 LiCl 焊剂电弧有收缩和“粘着”现象,电弧的宽度增加,长度减少,但阳极斑点不明显突出;加入 KF 焊剂电弧有明显突出的阳极斑点产生,阴极区有所收缩;加入 $ZnCl_2$ 焊剂电弧的宽度和长度都有所增加,阳极斑点变小而突出;加入多组元混合焊剂电弧宽度增大,阳极斑点变小,且明显凸出,电弧长度变化不明显. 电弧进入焊剂区时,焊缝表面宽度都有所减小,其中 KF 的减少最为明显,焊缝表面呈现金属光泽, $ZnCl_2$ 最为光亮,而无焊剂区焊缝表面呈现明显的氧化现象.

关键词: ZA 合金; TIG 焊剂; 焊接电弧; 焊缝成型

中图分类号: TG146

文献标志码: A

Study on the effect of the ZA alloy TIG flux on the weld formation and welding arc

LIU Xiu-zhong, LI Shi-tong, LUN Ning, YANG Min

(School of Materials Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: In the welding process of the ZA alloy, the effect of flux on the shape and voltage of the welding arc were investigated by using a high-speed camera and oscillograph. The influence of TIG flux on weld formation was analyzed. Results show that TIG flux affected the shape of the welding arc and the formation of anode spot. However, the flux didn't obviously influence the cathode conductive district. TIG flux can result in the increase of welding arc section area and make the anode spot outstanding. The voltage of the welding arc does not greatly increase. The KCl and KF in flux can lead to the reduction of both welding arc minor contraction and section area. LiCl and $ZnCl_2$ can make the section area of the welding arc increase. $ZnCl_2$ can prompt the formation of the anode spot and make it obvious. The ZA alloy TIG flux can also make the surface of the weld fine and reduce the weld width.

Key words: ZA alloy; TIG flux; welding arc; weld formation

0 前言

世界性的能源危机及铜蕴含量的逐年大幅度降低,促使人们不得不研究和开发新型材料以在某些的领域替代铜及其合金, ZA 合金最早正是以此为背

景进行研究和开发的. 近年来,随着科学技术的发展,研制和开发了许多性能优良的新型高强度 ZA 合金,并以其性能和价格优势,得到了迅猛发展及越来越广泛的应用^[1-4].

ZA 合金中 Zn 的熔点和沸点都较低,合金元素中又含有较活泼的 Al, Mg 等金属元素,因此焊接时

收稿日期:2007-04-06

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(22005F01)

作者简介:刘秀忠(1962-),女,山东郓城人,博士,教授,主要研究方向为新材料及其焊接性、焊接质量检验及其控制、钎焊等.

Email: liuxz@sdu.edu.cn; liuxzh99@163.com

很容易产生金属的蒸发和氧化;另外,ZA合金含有较多的合金元素,如Al,Mg,Cu,Ti,稀土等,其表面氧化膜的组成也较复杂.图1是ZA合金室温下表面氧化膜的X射线衍射曲线,从图中可以看出ZA合金的表面氧化膜主要由 MgO , Al_2O_3 , $MgAl_2O_4$ 及 $ZnAl_2O_4$ 等氧化物组成.因此焊接这种活泼的有色金属时,为防止出现气孔、夹杂、裂纹等焊接缺陷,保证焊接质量,必须采取措施去除表面氧化膜.TIG焊接有色金属铝及其合金、铜及其合金、钛及其合金等时,可以利用阴极破碎作用有效地去除表面氧化膜,不需要使用焊剂增加去膜效果.对于ZA合金TIG

焊接,以前的研究表明,TIG焊接的的阴极破碎作用并不能完全去除表面氧化膜和保护焊接熔池,不加入焊剂时焊缝的锌含量明显低于加入焊剂时焊缝的含锌量,且加入焊剂后电弧的稳定性好于不加焊剂时,有时由于去膜效果不好而产生夹渣、气孔等缺陷.因此焊剂的加入不仅可以减少锌的蒸发,而且可以显著提高去膜效果,并可降低焊缝中锌的损失^[5].

本文用高速摄影、示波仪、X射线衍射等分析测试方法,研究了ZA合金TIG焊剂对焊接电弧形态、电弧电压及焊缝成型的影响,进一步探讨了ZA合金TIG焊剂的作用机理.

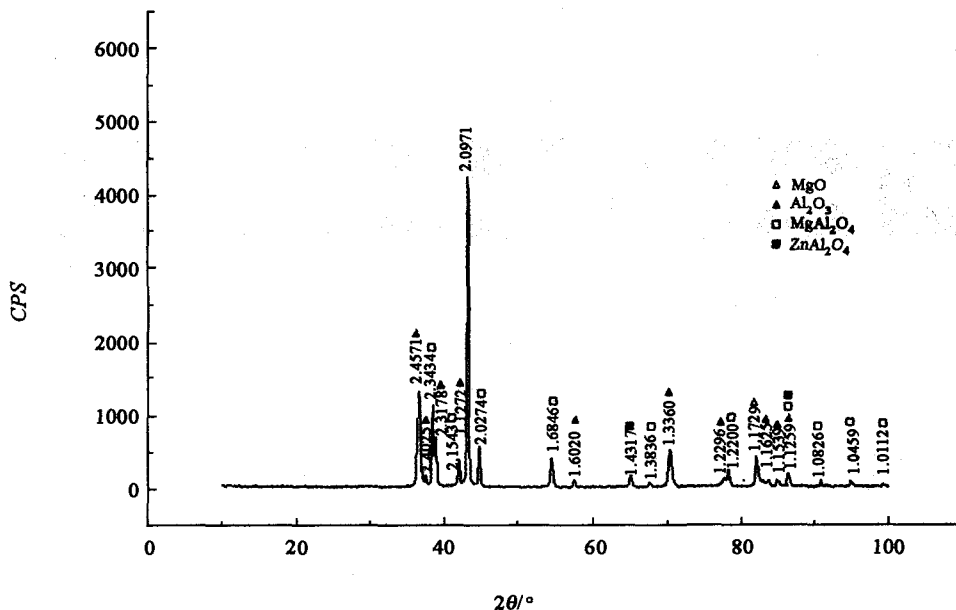


图1 ZA合金试样表面X射线衍射曲线

Fig.1 The X-ray diffraction pattern of the surface of ZA alloy

1 试验材料及方法

试验用母材是一种新型的高强度ZA合金,其Zn,Al成分相当于ZA10,同时还加入了少量的Cu,Ti,Mg等合金元素,其化学成分和力学性能见表1.试样用金属型铸造成 $100 \times 120 \times 4$ 的试板,然后根据需要加工成 $100 \times 40 \times 4$ 的试样,焊接时不开坡口,用直流TIG焊正接在试板上平铺焊接(示意图见图2),左边为未涂覆焊剂区,右边为涂覆焊剂区,从左边没有涂覆焊剂的一端起弧并焊接,采用的焊接工艺参数见表2.焊接过程中采用高速摄影技术同步拍摄电弧的燃烧形态,同时用示波仪记录电弧电压的实时变化.为进行比较,使用的焊剂主要有混合焊剂(成分见表3)、KCl,LiCl,KF和 $ZnCl_2$.

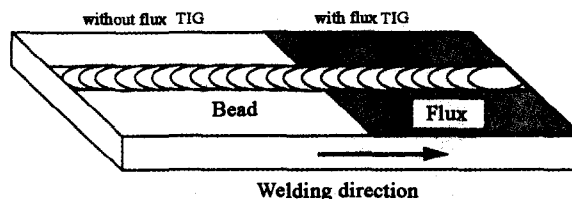


图2 焊接过程示意图

Fig.2 The schematic diagram of the welding procedure

表1 母材的化学性能和力学性能

Table 1 The chemical composition and mechanical properties of the base material

化 学 成 分/wt%					力 学 性 能	
Al	Cu	Mn	Mg, Ti, Tm	Zn	σ_b /MPa	δ /%
9~12	3~5	0.2~0.3	a little	balance	≥ 300	> 3

表2 TIG焊接工艺参数

Table 2 The welding parameters of TIG welding

参数	电流/A	焊速/mm/min	弧长/mm	钨极直径/mm
数值	80	175 ± 5	3 ± 0.5	2.5

表 3 ZA 合金 TIG 焊剂化学成分/Wt%

Table 3 The composition of fluxes in ZA alloy TIG welding /%

组成	KCl	LiCl	KF	ZnCl ₂
含量	40	15	10	35

2 试验结果分析

2.1 焊剂对焊接电弧及焊缝成型的影响

图 3 为不同焊剂条件下焊接电弧的形态,图 4 为焊缝的表面成型,表 4 为焊缝的表面宽度.从图 3 中可以看出,焊剂的加入都不同程度地改变了电弧的形状,但阴极导电区的变化不明显.图 3a 所示加入 KCl 焊剂时的电弧不加焊剂时的电弧相比有稍微的收缩,其形状变化不大;图 3b 是 LiCl 焊剂焊接时

的电弧,有收缩和“粘着”现象,使电弧的宽度增加,但阳极斑点突出不明显,电弧长度减少;图 3c 所示为加入 KF 焊剂时,电弧有明显突出的阳极斑点产生,阴极区有所收缩;图 3d 所示为加入 ZnCl₂ 焊剂时,电弧没有收缩,相反电弧的宽度和长度都有所增加,阳极斑点变小而突出,电弧长度增加;图 3e 是 TIG 焊剂即多组元混合焊剂的电弧形态,焊剂的加入使电弧宽度增大,阳极斑点变小,且明显凸出,但电弧长度变化不明显.从图 4 中也可以看出,电弧进入焊剂区时,焊缝表面宽度都有所减小,其中 KF 的减少最为明显,从表 2 中也可以看出,KF 焊缝的宽度变化最明显.加入焊剂后,焊缝表面呈现金属光泽,其中 ZnCl₂ 最为光亮,而无焊剂区焊缝表面呈现明显的氧化现象.

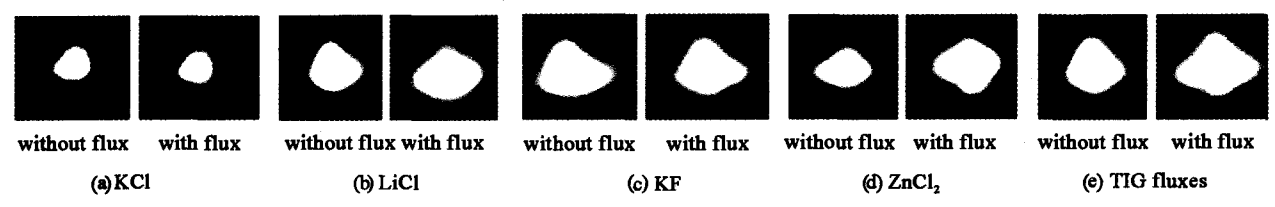


图 3 焊剂对电弧形状的影响
Fig.3 The effects of fluxes on the arc morphology



图 4 不同焊剂的焊缝表面成型
Fig.4 The welding bead appearance by different fluxes

表 4 焊缝的表面宽度

Table 4 The width of the welding bead surface

焊剂	未加焊剂/mm	加焊剂/mm	二者之差/mm
KCl	6.5	4.5	2.0
LiCl	7.0	5.0	2.0
KF	7.0	4.0	3.0
ZnCl ₂	6.5	5.5	1.0
TIG 焊剂(多组元)	7.0	5.0	2.0

焊接电弧的气体电离和电子发射是电弧中最基本的物理现象,不同元素具有不同电离能 E_i 、逸出功和电子亲和能 E_q .原子形成正离子所需的能量称为电离能 E_i ,不同的元素具有不同的电离能.原子或分子除释放出自由电子形成正离子和电子外,有时在电离气体中还存在着原子或分子与电子结合形成负离子的过程,元素吸附电子形成负离子的倾向决定于它与电子亲和能 E_q 的大小,而元素的电子亲和能的大小是由原子结构决定的,一般卤族元素(F,Cl,Br,I等)的电子亲和能最大.几种元素的电离能和亲和能见表 5^[6-12].

表 5 几种元素的电离能 E_i 和电子亲和能 E_q

Table 5 The ionization potentials (E_i) and the electron affinities (E_q) of the elements

元素	电离能 E_i /eV	亲和能 E_q /eV
Li	5.39	2.38
Cl	13.01	—
Ar	15.76	—
K	4.34	2.22
Al	5.98	4.25
H	13.60	—
Cu	7.72	4.36
Mg	7.64	3.64
F	17.42	—
O	13.61	2.0

焊接电弧的形态与电弧力大小有直接的关系,而电弧力又受到气体介质、电流和电弧电压、焊接极性、钨极端部的几何形状等的影响.焊剂的加入改变了阳极的表面状态,同时也改变了弧柱气氛. K, Al, Li 的电离能较低,可以较容易提供带电粒子,在同样条件下会使电弧中的带电粒子数量增加,电流密度增加,根据最小电压理论,焊接电弧的截面积增加,所以加入焊剂的电弧截面积都有所增加.由于金属蒸汽的电离能大大低于一般气体的电离能,更容易产生热电离而提供正离子流,电子流更容易从产生熔化和蒸发的区域进入阳极,阳极的导电区将在这里集中而形成阳极斑点,因此阳极斑点的形成条件之一是金属的蒸发,当金属表面有氧化膜时,阳极斑点有自动寻找金属表面而避开氧化膜的倾向.如果阳极表面某一区域产生均匀的熔化和蒸发,也不形成阳极斑点^[13-16].所以图 5 中未加焊剂的电弧没有明显的阳极斑点,就是因为不加焊剂时没有渣的保护作用,熔池中金属的蒸发较均匀,因此,熔池成为阳极导电区而难以形成明显的阳极斑点.而单组元焊剂 KCl、LiCl 的电弧中也没有明显的阳极斑点,这是因为有观点认为, F⁻ 是破坏铝氧化膜的主要成分,在 F⁻ 浓度不大时,氧化膜只是松动、起皱、脱落、或剥离,这样大块的残渣难以对熔池形成致密的保

护膜,使熔池表面的每个部位都有金属的蒸发,同样难以形成阳极斑点.单组元 KF 焊剂电弧有较明显的阳极斑点,因为氟化物有溶解 Al 氧化物的能力,形成的反应产物作为残渣能够在熔池表面形成一定的保护膜,但该保护膜并不能十分有效地防止金属的蒸发,另外在温度很高的电弧中心区,电离能低的焊剂蒸汽优先发生电离,使该区成为阳极斑点区,因此单组元 KF 焊剂的阳极斑点范围大且不明显.单组元 ZnCl₂ 及混合焊剂电弧的有很明显,且凸出的阳极斑点,说明 ZnCl₂ 及混合焊剂的反应产物或残渣对焊接熔池的保护作用,使熔池中金属的蒸发受到抑制,在金属蒸汽较少的情况下,电弧中的带电粒子数量减少,电流密度变小,只能形成较小范围的阳极斑点,电弧导电通道紧缩,从而形成较窄的熔池. ZnCl₂ 本身熔点低,很容易蒸发,反应生成的气体又具有较低的电离能,因此,含有 ZnCl₂ 的焊剂电弧,很容易形成阳极斑点,在图 3 中可以看到明显的凸出部分.

2.2 焊剂对焊接电弧电压的影响

图 5 为不同焊剂的电弧电压焊接过程中的实时变化曲线.从图 5 看出,不同单组元焊剂的电弧电压均有不同程度的增加.图 5a, b, c 曲线中间部分的电弧电压出现峰值,这是因为该区域为涂敷焊剂与未

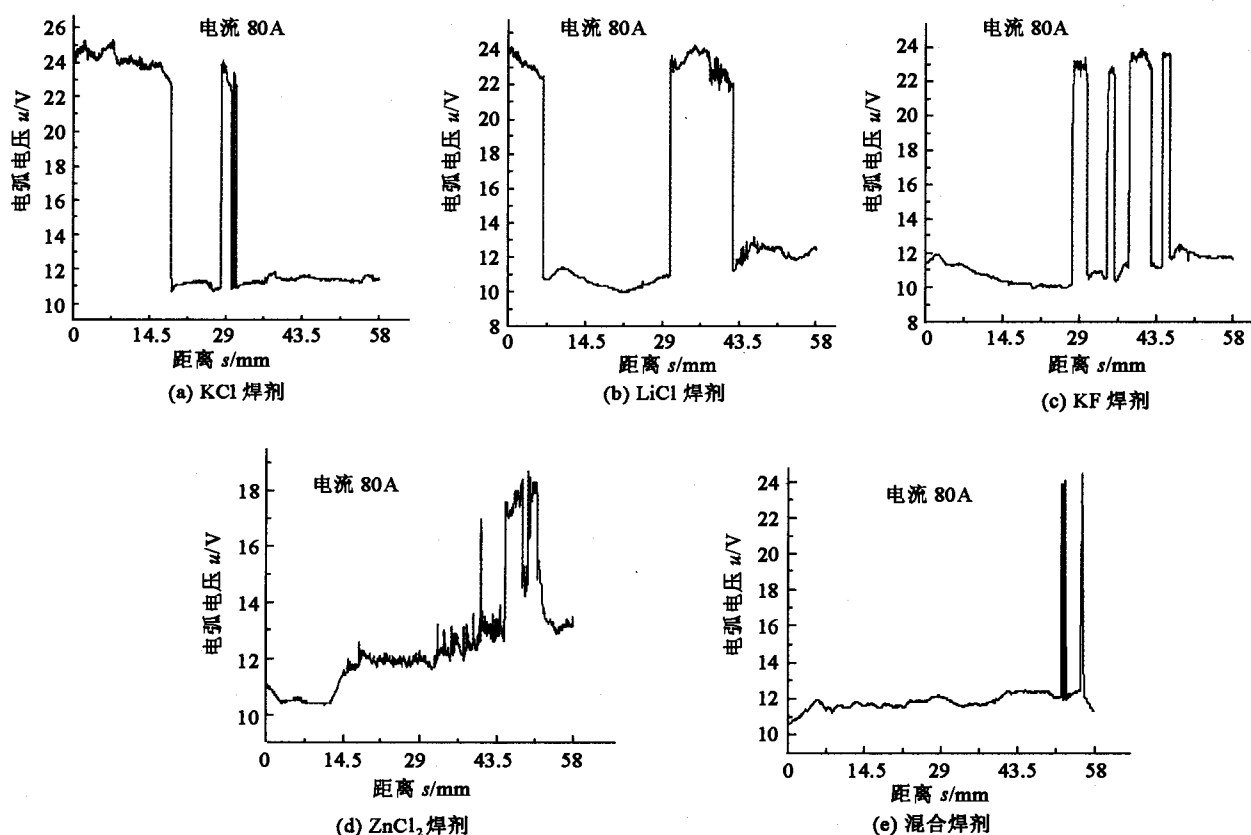


图 5 焊接时的电弧电压变化曲线
Fig.5 Arc voltage change curves during welding

涂敷焊剂的交界处,电弧在此处不稳定甚至出现断弧现象,致使电弧电压升高,这与试验时焊剂的涂敷有关。从图5d中的曲线后半分部也出现不稳定的峰值电压,这说明加入 ZnCl_2 焊剂的电弧电压不稳定,因为 ZnCl_2 高温下易产生飞溅,影响电弧的稳定燃烧。多组元焊剂的电弧能够稳定燃烧,电弧电压变化幅度很小,这说明多组元的混合焊剂在焊接过程中,能够通过改变焊接电弧的弧柱气氛、焊接熔池的形状等,稳定焊接电弧,改善焊缝成型等。

3 结论

(1) 焊剂的加入都不同程度地改变了电弧的形状,但阴极导电区的变化不明显。加入 KCl 焊剂时的电弧的形态和不加焊剂时相比电弧有稍微的收缩,其形状变化不大;加入 LiCl 焊剂时电弧有收缩和“粘着”现象,电弧的宽度增加,但阳极斑点不明显突出,电弧长度减少;加入 KF 焊剂时电弧有明显突出的阳极斑点产生,阴极区有所收缩;加入 ZnCl_2 焊剂时电弧的宽度和长度都有所增加,阳极斑点变小而突出;加入 TIG 焊剂时电弧宽度增大,长度变化不明显,阳极斑点变小,且明显凸出。

(2) 电弧进入焊剂区时,焊缝表面宽度都有所减小,其中 KF 的减少最为明显,同时焊缝表面呈现金属光泽,其中 ZnCl_2 最为光亮,而无焊剂区焊缝表面呈现明显的氧化现象。

(3) 不同单组元焊剂的电弧电压均有不同程度的增加;多组元混合焊剂能够使焊接电弧稳定燃烧。

参考文献:

- [1] 陈体军,郝远. 铸造锌基复合材料的研究现状[J]. 材料导报,2000,14(3):29-31.
CHENG Ti-jun, HAO Yuan. Current status of casting zinc matrix composites[J]. Materials Review, 2000, 14(3):29-31.
- [2] 张伟. 国内外锌基合金的研究现状和进展[J]. 铸造技术, 1993,(2):36-39.
ZHANG Wei. Recent progress of zinc matrix composites in both domestic and foreign field[J]. Casting Technology, 1993, (2):36-39.
- [3] PRASAD B K. Tensile properties of some zinc-based alloys comprising 27.5% Al effects of alloy microstructure composition and test conditions[J]. Materials Science and Engineering, 1998, 15(2):257-266.
- [4] 赵浩峰,王玲. 铸造锌合金及其复合材料[M]. 北京:中国标准出版社,2002:139-170.
- ZHAO Hao-feng, WANG Ling. Casting zinc alloys and composites[M]. Beijing: China Standard Press, 2002:139-170.
- [5] LIU X Z, YANG M, XING Z H. Composition and microstructure characteristics in bond area of TIG welding for high strength ZA alloy[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2003, 13(1):153-157.
- [6] PATON B E. The weldability of steels that have been refined by remelting[J]. Automatic Welding, 1974, 27(6):1-4.
- [7] GUREVICH S M, ZAMAKOV V N. Some characteristic features of the welding of titanium with a non-consumable electrode using fluxes[J]. Avt Svarka, 1966, 8(12):13-16.
- [8] 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.
- [9] PASKELL T, LUNDIN C. Gtaw flux increases weld joint penetration[J]. Welding Journal, 1997, 76(4):57-62.
- [10] TAKEUCHI Y, TAKAGI R, SHINODA T. Effect of bismuth on weld joint penetration in austenitic stainless steel[J]. Welding Journal, 1992, 71(8):283-289.
- [11] 杨春利,田中学. 表面活性剂对TIG焊电弧现象及焊接熔深的影响[J]. 机械工程学报, 2000, 36(12):43-46.
YANG Chun-li, TIAN Zhong-xue. Effect of surface active agent on TIG arc welding and deep penetration[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2000, 36(12):43-46.
- [12] 杨春利,田中学. TIG焊熔池表面张力的测定及表面活性剂的影响[J]. 机械工程学报, 2000, 36(10):59-63.
YANG Chun-li, TIAN Zhong-xue. Testing the surface stress of TIG welding pool and influence of surface active agent[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2000, 36(10):59-63.
- [13] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接方法及设备(焊接手册(第一分册))[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
Transactions of the China Welding Institution. Methods and equipments of welding (Welding handbook) [M]. Beijing: China Machine Press, 1992.
- [14] 郑宜庭,黄石生. 弧焊电源(第3版)[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
ZHENG Yi-ting, HUANG Shi-sheng. Arc welding powder source (the third version) [M]. Beijing: China Machine Press, 1999.
- [15] 姜焕中. 电弧焊及电渣焊(第二版)[M]. 北京:机械工业出版社,1993.
JIANG Huan-zhong. Arc and electro-slag weld (the second version) [M]. Beijing: China Machine Press, 1993.
- [16] HWIPLE C R, ROPER J R. Mechanism for minor element effect on TIG fusion zone geometry[J]. Welding Journal, 1982, 61(4):97-102.

(编辑:孙广增)