

黄铜辅助镁合金/不锈钢 TIG 熔钎焊研究

孔令明, 杜双明, 李俊慧, 夏玉洁

(西安科技大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要:以 0.3 mm 厚的 H62 黄铜片为中间层, 采用 TIG 焊的方法对 AZ31B 镁合金和 304 不锈钢板材进行搭接熔钎焊, 观察分析了熔钎焊接头的宏观形貌及显微组织, 测定了元素分布及力学性能。结果表明, 在交流电流 70 A、焊接速度 100 mm/min 的条件下, 实现了镁合金和不锈钢的 TIG 熔钎焊。接头由焊缝区、钎缝区和熔合区三部分组成, 钎缝区不锈钢一侧发生了不规则溶解, 钎缝区显微组织由 α -Fe、 α -Mg 及沿 α -Mg 晶界分布的少量的 Mg-Cu-Al 共晶体组成。熔钎焊接头的拉伸断裂发生在焊缝区, 抗拉强度达到 130 MPa。钎缝区钢一侧形成的不规则嵌入式组织结构明显提高了不锈钢与镁合金的界面的结合强度。

关键词: 镁合金; 不锈钢; 黄铜中间层; TIG 熔钎焊; 显微组织

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2017.13.064

中图分类号: TG454

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2017)13-0237-04

Study on Brass Auxiliary TIG Welding-brazing of Magnesium Alloy and Stainless Steel

KONG Lingming, DU Shuangming, LI Junhui, XIA Yujie

(College of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: The lap welding-brazing of AZ31B magnesium alloy and 304 stainless steel plates was carried out by TIG welding with 0.3 mm H62 brass sheet as interlayer. The macroscopic morphology and microstructure of welding-brazing joint were observed and analyzed, and the distribution of elements and mechanical properties were tested. The results shows that the magnesium alloy can be joined with the stainless steel by TIG welding-brazing with alternating current of 70 A and welding speed of 100 mm/min. The joint consists of weld zone, brazing seam and fusion zone. The irregular dissolution occurs at the side of stainless steel in brazing seam. The microstructure of brazing seam consists of α -Fe, α -Mg and a small amount of Mg-Cu-Al eutectic distributed along α -Mg grain boundary. The tensile fracture of welding-brazing joint occurs in weld zone, and the tensile strength is 130 MPa. The irregular embedded structure formed at the side of stainless steel in brazing seam significantly improves the bonding strength of interface between stainless steel and magnesium alloy.

Key words: magnesium alloy; stainless steel; H62 brass interlayer; TIG welding-brazing; microstructure

镁合金具有密度低、比强度高、阻尼减震性好、易机械加工及易回收利用等特点, 是当前工程应用中最轻的金属结构材料, 在航空、航天、轮船、汽车制造等领域受到青睐^[1-2]。不锈钢具有良好的强度及耐腐蚀性, 在各领域应用广泛^[3-4]。镁合金和不锈钢的有效连接, 可以发挥镁和钢各自的优良性能, 有助于解决飞机、汽车等轻量化问题, 已成为焊接工程领域的研究热点之一^[5]。但镁与钢的熔点和热物理性能相差很大, 冶金相容性差, 难以形成可靠的焊接接头^[6-7]。

TIG 焊的焊接设备简单, 操作方便, 易于实现工业化生产^[8]。TIG 熔钎焊可以通过调整热输入量, 利用低熔点母材的熔化润湿铺展于高熔点母材, 从而实现异种金属的连接。研究表明, Cu 元素可以提高熔融镁在钢表面的润湿性^[9]。基于此, 本试验以 H62 黄铜片为中间层, 对 AZ31B 镁合金板和 304 不锈钢板进行 TIG 搭接熔钎焊, 研究镁合金 / 不锈钢焊接接头的微观组织和力学性能。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本试验使用的两种母材为 3 mm 厚的 AZ31B 镁合金板和 304 不锈钢板, 利用线切割加工为 65 mm×40 mm 的样板。中间层为 0.3 mm 厚的 H62 黄铜片。其化学成分分别见表 1~3。

收稿日期: 2016-08-18

作者简介: 孔令明(1988-), 男, 山东德州人, 硕士研究生, 研究方向: 镁异种金属熔钎焊; 电话: 15771958720;

E-mail: klm1988@163.com

通讯作者: 杜双明(1963-), 男, 陕西渭南人, 教授, 博士;

电话: 13319251889; E-mail: shuangmingdu@163.com

表 1 AZ31B 镁合金的化学成分(质量分数, %)

Tab.1 Chemical composition of AZ31B Mg alloy (wt%)

Al	Zn	Mn	Si	Mg
2.5~3.5	0.5~1.5	0.2~0.5	≤0.1	余量

表 2 304 不锈钢的化学成分(质量分数, %)

Tab.2 Chemical composition of 304 stainless steel (wt%)

C	Cr	Ni	Mn	Si	Fe
0.08	18.28	8.15	2.00	1.00	余量

表 3 H62 黄铜的化学成分(质量分数, %)

Tab.3 Chemical composition of H62 brass alloy (wt%)

Cu	Fe	Pb	Sb	Zn
60.5~63.5	0.15	0.08	0.005	余量

1.2 试验方法

试验设备为 YC-300WX 型焊机, 焊枪喷嘴内径为 $\phi 10\text{mm}$, 钨极直径为 $\phi 3\text{mm}$ 。试验前用砂纸对不锈钢板、镁合金板和黄铜片进行表面打磨, 用丙酮清洗后待用。经过前期试验对焊接工艺参数优化, 获得最佳工艺参数如下: 交流电流 70 A, 焊接速度 100 mm/min, 将钨极端部磨成锥形, 尖端磨钝, 钨极与工件的夹角为 $60^\circ \sim 70^\circ$, 用高纯氩气保护, 气流量为 15 L/min。接头形式为搭接, 如图 1 所示。

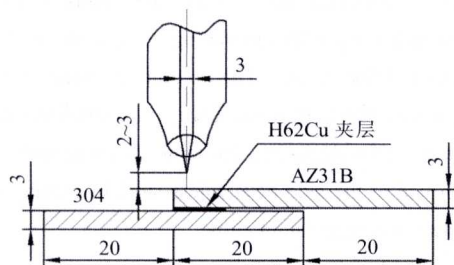


图 1 镁 / 钢 TIG 熔钎焊示意图(mm)

Fig.1 Schematic diagram of TIG welding-brazing of Mg and steel(mm)

焊后利用线切割在焊件上截取接头处 20 mm × 20 mm 的试样, 制备金相试样, 采用扫描电镜 (SEM) 和能谱 (EDS) 观察分析显微组织及元素分布。截取宽度为 15 mm 的试样, 制备拉伸试样, 在 WDW-100E 微机控制电子式万能试验机上以 1.0 mm/min 的拉伸速度对试样进行拉伸试验。拉伸试样如图 2 所示, 在镁板和钢板上分别粘上与母材厚度相同的

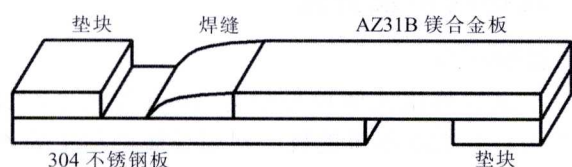


图 2 拉伸试样示意图

Fig.2 Schematic diagram of tensile specimen

垫块, 保证拉伸试验时拉力处于同一直线上。利用 SEM 观察分析断口形貌。

2 试验结果及分析

2.1 焊接接头的表面形貌

镁 / 钢 TIG 搭接熔钎焊焊缝的宏观形貌如图 3 所示, 焊缝良好、连续, 呈均匀鱼鳞纹状, 宽度约 9 mm, 表面未发现裂纹、气孔等焊接冶金缺陷。



图 3 接头表面形貌

Fig.3 Surface morphology of joint

2.2 焊接接头横截面宏观形貌

焊接接头横截面的宏观形貌如图 4 所示, 可以看出接头由焊缝区、钎缝区和熔合区三部分组成。焊缝区是由镁合金母材和黄铜中间层在电弧作用下熔化形成的熔池凝固而成; 钎缝区是镁合金和黄铜中间层所形成的熔池在不锈钢表面润湿铺展而形成的结合界面; 熔合区为焊缝区与镁合金母材区的接合区域。

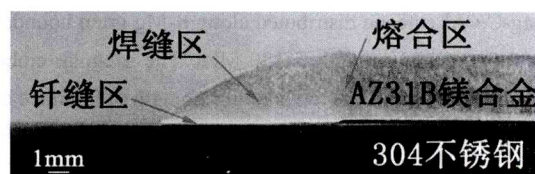


图 4 接头横截面宏观形貌

Fig.4 Macroscopic morphology of cross section of joint

2.3 钎缝区微观组织及元素分析

图 5 为镁合金与不锈钢钎缝区的微观组织形貌及相应元素线扫描分析。由图 5(a) 可以看出, 镁合金与不锈钢的钎缝区组织致密, 熔化的镁合金和黄铜片形成的合金熔体能够较好地润湿铺展于钢的表面。钎缝区局部区域的不锈钢出现不规则的溶解现象, 形成溶蚀坑, 这是镁合金熔体中的 Mg、Al、Cu 等元素在不锈钢基体的冶金缺陷 (如裂纹、气孔等) 位置沿晶界渗透所致。焊接过程中, 镁合金熔体渗透进入钎缝区钢侧有缺陷的区域, 由于 Cu 元素的存在, 提高了镁 / 钢之间的润湿性, 在毛细作用下迅速沿缺陷向前扩展, Mg、Al、Cu 等元素在不锈钢晶间扩

散渗透。同时 Fe 元素向熔融镁合金中扩散,使少量不锈钢溶解。在 Fe 元素溶解与 Mg、Al、Cu 等元素扩散渗透的交织作用下,不锈钢局部裂解,裂纹、气孔等缺陷扩大,更多的镁合金熔体进入钢基体中。这种不规则的嵌入式组织结构有利于提高镁/钢界面的结合强度。

由图 5(b)的元素线扫描结果可以看出,在钎缝区钢一侧,Fe、Mg、Al、Cu 等元素发生了明显的互扩散。图 6 为图 5(a)中 A 区域的放大图,可以看出,溶蚀坑区域的显微组织由白色块状组织(点 1、2)、黑色等轴状组织(点 3)及沿晶界分布的白色网状组织(点 4、5)组成。根据表 4 元素点扫描结果,可知白色块状组织为 α -Fe,黑色等轴状组织为 α -Mg 的固溶体,白色网状组织为 Mg-Cu-Al 共晶体。在镁合金沿晶界渗透的过程中,溶蚀坑区域的钢裂解为块状,块状钢组织由大变小直至完全溶解,由于受热时间很

表 4 溶蚀坑区域元素点扫描(质量分数,%)

Tab.4 Point scanning of elements in dissolved pit (wt%)

位置	Mg	Al	Fe	Cu	可能物相
1	0.23	0.18	99.40	0.19	α -Fe
2	0.14	0.31	99.24	0.31	α -Fe
3	97.77	1.12	-	0.85	α -Mg
4	83.40	4.02	-	12.02	Mg-Cu-Al 共晶体
5	79.09	4.24	-	16.67	Mg-Cu-Al 共晶体

短,部分块状钢组织未完全溶解,所以钢以大小不等的颗粒状态存在于钎缝区,这在一定程度上起到了颗粒强化的作用。

2.4 焊接接头的力学性能及断口形貌

图 7 为焊接试样拉断后的宏观形貌,可以看出,试样断裂发生在焊缝区。抗拉强度约为 130 MPa。可见,AZ31B 镁合金与 304 不锈钢的界面结合强度很高,这与钎缝区钢一侧形成的不规则嵌入式组织结构有关。

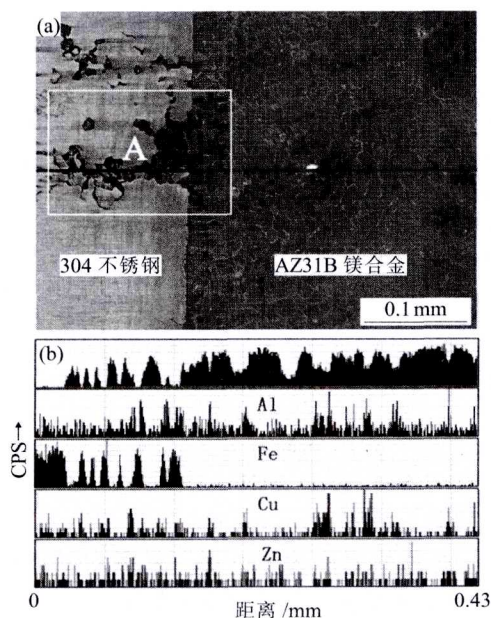


图 5 钎缝区微观组织及元素线扫描

Fig.5 Microstructure of brazing seam and line scanning of elements

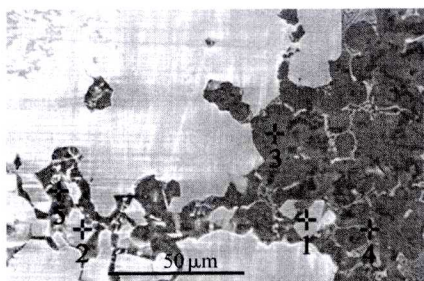


图 6 图 5(a)中 A 区域放大图

Fig.6 Enlarge figure of A region in Fig. 5(a)

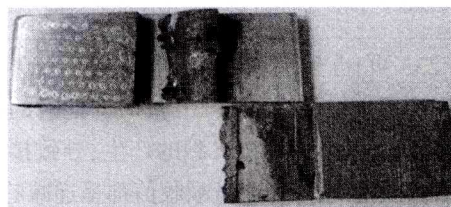


图 7 拉伸试样断口宏观形貌

Fig.7 Macroscopic morphology of tensile specimen fracture

图 8 为断口微观组织,接头的断裂方式为延性断裂,断口周围有较多的沿晶断裂区域,断面有较多韧窝,韧窝断裂区域与周围局部沿晶断裂区域之间有明显的撕裂棱。这是因为 TIG 焊的热输入量较大,具有快热快冷的特点,熔池存在时间较短,凝固较快,晶粒的长大受限,从而保留了焊缝较大的韧性。

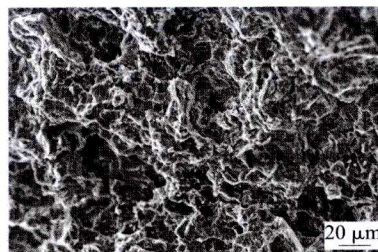


图 8 断口微观组织

Fig.8 Fracture microstructure

3 结论

(1) 采用钨极氩弧焊,以 H62 黄铜为中间层,在交流电流 70 A、焊接速度 100 mm/min 的条件下,

实现了 AZ31B 镁合金与 304 不锈钢的熔钎焊。接头由焊缝区、钎缝区和熔合区三部分组成。

(2) 在钎缝区钢一侧,受到溶解-扩散渗透的交织作用,形成了不规则的镁基体嵌入式组织结构。溶蚀坑区域主要含有 Fe、Mg、Al、Cu 等元素,其显微组织由 α -Fe、 α -Mg 及沿 α -Mg 晶界分布的 Mg-Cu-Al 共晶体组成。

(3) 熔钎焊接头的拉伸断裂发生在焊缝区,断裂方式为延性断裂,抗拉强度达到 130 MPa,钎缝区钢一侧形成的不规则嵌入式组织结构明显提高了不锈钢与镁合金的界面结合强度。

参考文献:

- [1] Friedrich H, Schumann S. Research for a "new age of magnesium" in the automotive industry [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 117: 276-281.
- [2] Mehta D S, Masood S H, Song W Q. Investigation of wear properties of magnesium and aluminum alloys for automotive applications [J]. Journal of Materials Processing Technology,

(上接第 233 页)也呈递增趋势。

(3) 当焊接电流增加至 15kA 时,此时的焊核直径仍是递增的,但由于焊接飞溅的产生,导致接头强度下降,接头的失效载荷和能量吸收值都呈递减趋势。

参考文献:

- [1] 于燕,陈军,贾坤宁,等. DP800 高强度钢板的点焊性能研究 [J]. 热加工工艺, 2010, 39(1): 17-19.
- [2] Pouranvari M, Marashi P. Key factors influencing mechanical performance of dual phase steel resistance spot welds [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2010, 15(2): 149-155.
- [3] 饶轮,董万鹏,刘雅芳,等. 双相钢 DP780 电阻点焊工艺研究

(上接第 236 页)大,在熔合区和过热区均有下贝氏体组织生成。可见随着预热温度的增加,热输入增大,冷却速度减小,组织中马氏体的量减少,并含有部分下贝氏体,冷裂倾向减小,韧性较好,接头的力学性能得到改善。因此,采用合适的预热温度和焊接线能量,会显著减小焊接接头的淬硬倾向,接头的力学性能最优^[9]。

3 结论

(1) 对于板厚为 30mm 的 ZG30Cr06A 钢工件,在室温条件下对斜 Y 型坡口进行施焊,裂纹率达 100%;随着预热温度的增大,裂纹率逐渐降低,在预热温度为 100℃及以上时,不会出现冷裂纹。

2004, 155-156; 1526-1531.

- [3] Baddoo N R. Stainless steel in construction: a review of research, applications challenges and opportunities [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2008, 66(11): 1199-1206.
- [4] Lo K H, Shek C H, Lai J K L. Recent developments in stainless steel [J]. Materials Science and Engineering R, 2009, 65(4/6): 39-104
- [5] Miao Y G, Han D F, Yao J Z, et al. Microstructure and interface characteristics laser penetration brazed magnesium alloy and steel [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2010, 15(2): 97-103.
- [6] Liu L M, Zhao X. Study on the weld joint of Mg alloy and steel by laser-GTA hybrid welding [J]. Materials Characterization, 2008, 59(9): 1279-1284.
- [7] 檀财旺,梅长兴,李俐群,等. 镁/镀锌钢异种合金单、双光束激光熔钎焊特性 [J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(6): 56-64.
- [8] Lei Z, Qin G L, Lin S Y, et al. Research and development of dissimilar metals welding of aluminum and steel [J]. Welding & Joining, 2006(4): 16-20.
- [9] 刘东阳. AZ31B 镁合金/Q235 钢异种金属 MIG 焊接特性的研究[D]. 长春,吉林大学,2013. H

[J]. 热加工工艺, 2016, 45(15): 249-252.

- [4] 王敏,张海涛,潘华,等. DP590 双相钢电阻点焊熔核形成过程的数值模拟[J]. 上海交通大学学报, 2009, 43: 56-60.
- [5] Song Yuke, Lin Hua, Wang Xiaokai, et al. Research on the detection model and method for evaluating spot welding quality based on ultrasonic A-scan analysis [J]. Journal of Nondestructive Evaluation, 2016, 35(1): 2-12.
- [6] 赵新玉,刚铁,袁媛,等. 薄钢板点焊接头超声信号分析[J]. 焊接学报, 2005, 26(11): 101-106.
- [7] 陈振华,史耀武,赵海燕,等. 薄镀锌钢板点焊超声成像分析 [J]. 机械工程学报, 2009, 45(2): 274-278.
- [8] Liu Jing, Xu Guocheng, Gu Xiaopeng, et al. Ultrasonic C-scan detection for stainless steel spot welds based on signal analysis in frequency domain [J]. ISIJ International, 2014, 54(8): 1876-1882. H

(2) 在预热温度为 150℃,采用 GMAW 焊对 ZG30Cr06A 钢板进行焊接,焊缝未发现裂纹。对接头进行拉伸性能、弯曲性能和冲击性能试验,各项性能均满足要求。

参考文献:

- [1] 高有进. 6.2 米液压支架关键技术研究及优化设计[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [2] 游胜辉. 40MnB 与 16MnR 异种钢的焊接性试验及工艺评定 [J]. 电焊机, 2012, 42(7): 65-68.
- [3] 陈宏. 水介质单体液压支柱的开发与应用 [J]. 煤矿安全, 2003(3): 16-19.
- [4] 曹牛. 国产液压支架的研制与发展[J]. 中国工程机械学报, 2005, 14(4): 168-169.
- [5] 杨莉. ZG30Cr06E 的焊接性分析研究 [J]. 热加工工艺, 2008, 37(23): 81-83. H