AZ31B 变形镁合金板材的 TIG 焊接

于思荣[1],陈显军[1],刘耀辉[1],卫广平[2],林阳阳[1],宋雨来[1],朱先勇[3]

(1.吉林大学 材料科学与工程学院,长春 130022;2.长春市冠信轨道客车配件有限责任公司,长春 130000;
3.吉林大学 机械科学与工程学院,长春 130022)

摘 要:采用 TIG 焊对 5 mm 厚 AZ31B 挤压镁合金板材进行了焊接试验。采用万能拉伸试验机、金相显微镜、扫描电子显微镜和显微硬度仪等分析测试手段对焊接接头的组织、力学性能以及断口形貌等进行了分析。探讨了焊接电流对焊接接头的组织及力学性能的影响,揭示了不同焊接电流下焊接接头的断裂机制。结果表明,采用 TIG 焊焊接 5 mm 厚 AZ31B 镁合金板时,开 X 型坡口,采用双面焊接双面成型工艺,在 130～145 A 焊接电流及合适焊接速度条件下,能得到表面成型良好的焊接接头。当正反面焊接电流均为 145 A 时,AZ31B 镁合金板焊接接头的抗拉强度达到最大值 248.6 MPa,约为母材强度的 84.0 %。AZ31B 镁合金板焊缝区显微硬度比母材区稍有所下降,热影响区显微硬度下降比较严重。当焊接电流为 145 A 时,AZ31B 镁合金板焊接拉伸断口有大量韧窝,属韧性断裂。

关键词:金属材料;AZ31B 镁合金;TIG 焊;抗拉强度;显微硬度;断裂机制
中图分类号:TG44 文献标识码:A 文章编号:1671-5497(2009)Sup.1-0159-05

TIG welding of AZ31B magnesium alloy plates

YU Si-rong[1],CHEN Xian-jun[1],LIU Yao-hui[1],WEI Guang-ping[2],
LIN Yang-yang[1],SONG Yu-lai[1],ZHU Xian-yong[3]

(1. College of Materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. Guanxin Railway Vehicles Fittings Co. Ltd of Changchun City, Changchun 130000, China; 3. College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: TIG welding test of AZ31B magnesium alloy plates with the thickness of 5 mm was carried out. The microstructures, tensile fracture surfaces, and mechanical properties of welded joints were investigated by means of an optical microscope, a scanning electron microscopy, a universal tensile testing machine and a microhardness testing instrument. The effects of the welding current on the microstructure and mechanical properties of welded joints were discussed. The results show that when TIG welding was used to weld AZ31B magnesium alloy plates with the thickness of 5 mm, the welded joints with a smooth weld surface can be obtained at the welding current range from 130 to 145 A. When the welding current is 145 A, the maximum tensile strength of the welded joints is 248.6 MPa, approximately 84.0 % of the strength of the base material. The microhardnesses of the weld zone (WZ) and the heat affected zone (HAZ) of AZ31B magnesium alloy plates are reduced, and the microhardness in HAZ is the lowest. When the welding current is 145 A, there are a large number of

收稿日期:2008-12-23.
基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划项目;长春市科技支撑计划项目(2007KZ07).
作者简介:于思荣(1964-),男,教授,博士生导师.研究方向:金属材料加工.E-mail:yusr@jlu.edu.cn

©

dimples on the tensile fracture surface of welded joint, and this fracture belongs to the tough fracture.
Key words: metallic material; AZ31B magnesium alloy; TIG welding; tensile strength; microhardness; fracture mechanism

镁及镁合金是目前工业应用中最轻的结构材料,它具有密度小、比强度高、比刚度高及切削加工性好等特点,在航空、汽车、电子工业等领域正得到日益广泛的应用[1-4]。但与铝合金及钢铁相比,镁合金塑性较差,挤压、轧制性能不好,大多数镁合金零件局限于压铸这一单一的成型方式。随着对镁合金研究的进一步深入和镁合金应用领域的进一步扩展,深入开展镁合金焊接技术研究、提高镁合金的焊接性、获得优质焊接接头显得尤为重要和迫切。迄今为止,镁合金的焊接技术尚不够成熟。本文主要探讨焊接电流对AZ31B变形镁合金板材的TIG焊接接头显微硬度、抗拉强度和断裂机制的影响。

1 试验材料和方法

采用挤压、轧制的5 mm厚AZ31B镁合金板材进行焊接实验。AZ31B镁合金板材各元素的质量分数为w(Al)=3.19%,w(Zn)=0.81%,w(Mn)=0.334%,w(Si)=0.02%,w(Fe)=0.005,w(Cu)=0.005,w(Be)=0.01%,w(Mg)=余量。抗拉强度为292.9 MPa,屈服强度为220 MPa,伸长率为18.4%,密度为1.738 g/cm^3,晶粒度为8～15 μm,熔点为650 ℃,沸点为1107 ℃,热导率为155.5 W/m·K。采用液压剪板机把母材加工成规格为200 mm×60 mm×5 mm的试样板,并开X型坡口。焊接用的焊丝与母材的材质相同,焊丝直径为2.4 mm。焊前用丙酮清除试板和焊丝表面的油污,然后再用砂纸打磨去除试板和焊丝表面的氧化膜。

采用WSE315钨极氩弧焊机(最大输出电流300 A)对AZ31B镁合金板材进行焊接。由于镁合金在焊接过程中易氧化,同时镁合金热膨胀系数大而刚性小,凝固收缩量大,因此,为了减少镁合金焊接时的氧化,保证焊接质量,焊接时采用氩气双面保护工艺。根据焊件的尺寸、形状,设计制备了如图1所示的背面保护装置。该装置除了作为保护装置以外,还起到垫板和夹具的作用。

焊接试验时,采用的钨极直径为3 mm,焊接电流120～150 A;采用氩气作为保护气体,氩气喷嘴直径12 mm,氩气流量15 L/min;焊接速度以得到成型良好的接头为准。

图1 镁合金焊接背面保护装置

Fig. 1 Back shielding device for magnesium alloy welding

采用MTS810电液伺服实验系统按GB228-2002标准测试焊接接头的拉伸性能。采用线切割机加工形状及尺寸如图2所示的拉伸试样,焊缝位于拉伸试样的正中间位置,试验前用锉刀把焊缝处的凸起锉平。拉伸速度为0.2 mm/min。采用JSM5310扫描电子显微镜观察拉伸断口形貌。

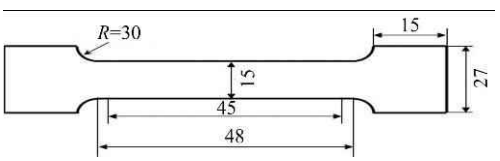


图2 镁合金焊接接头拉伸试样

Fig. 2 Tensile specimen of welded joint of magnesium alloy

采用金相显微镜观察焊接接头的显微组织。采用FUTURE-TECH FM-700数字显微硬度仪测试焊接接头的显微硬度,实验载荷为200 g,保压时间10 s。

2 结果及分析

2.1 AZ31B镁合金焊缝成型特点

镁合金钨极交流氩弧焊时,焊接电流和焊接速度对焊缝成型质量有很大影响。焊接电流为130～145 A时,采用合适焊接速度能够得到表面光滑、无过烧、无未焊透、无弧坑、外观成型良好、内部无气孔和裂纹的焊接接头。图3是焊接电流为130 A的焊接接头的宏观照片。

©

图 3　镁合金 TIG 焊接接头形貌照片

Fig. 3　Morphology of TIG welded joint of magnesium alloy

研究发现,若焊接电流小于 130 A,母材和焊丝熔化不完全,易出现未熔合和未焊透的现象;若电流大于 150 A,母材变形严重,易烧穿,焊缝会出现晶粒过烧、气孔、裂纹等缺陷。焊接电流在 120～130 A 时,采用低焊速焊接才能保证焊接接头成型良好,但由于焊缝受热时间较长,热影响区比较宽。焊接电流大于 140 A,高速焊接时焊缝成型良好,热影响区比小电流低速焊接时窄。因此,为保证焊接接头性能良好,尽量采用大电流高速成型,以减少热影响区的宽度,获得力学性能良好的焊接接头。

2.2　AZ31B镁合金焊接接头的拉伸强度

表 1 为在其他工艺条件相同的情况下,不同焊接电流下的拉伸试验数据。从表 1 可以看出,焊接电流在 145 A 以下,随着焊接电流的增大和焊接速度的相应提高,焊接试样的拉伸强度不断提高,在 145 A 时达到最大值 248.6 MPa,约为母材强度的 84.0 %左右。当电流继续增大时拉伸强度有所下降。这是由于焊接电流过小焊接试样会出现未焊透、未熔合等缺陷,同时要获得成型良好的焊接接头势必要采用低的焊接速度使得热影响区变宽,从而降低了焊接接头的抗拉强度;随着焊接电流的增大,焊接接头成型良好,同时由于采用较高的焊速,焊接热影响区较窄,从而获得抗拉强度良好的焊接试样;当电流大于150 A 时,会产生过烧、气孔等缺陷,焊接冷却过程中组织过热,晶粒较粗大,导致力学性能下降。除此之外,AZ31B 镁合金板材中镁含量很高,镁的沸点较低,镁在高温下很容易蒸发、氧化和氮化,形成的氧化物和氮化物很脆,从而使接头的力学性能有所下降。

断裂主要发生在焊缝与母材的交界处,即热影响区处。同时从表中还可以看出,接头的伸长率略低于母材,这可能与焊接热循环过程及母材的原始状态有关。母材是经过轧制变形后得到的,强度和塑性较高;而焊接接头由于镁合金焊接过程中的过热造成热影响区的组织晶粒粗大,因此接头的强度和韧性稍低[5-6]。

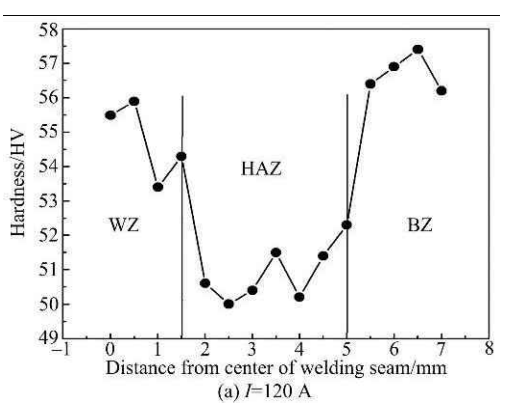
表 1　AZ31B镁合金母材和焊接接头的力学性能

Table 1　Mechanical properties of AZ31B magnesium alloy and welded joints

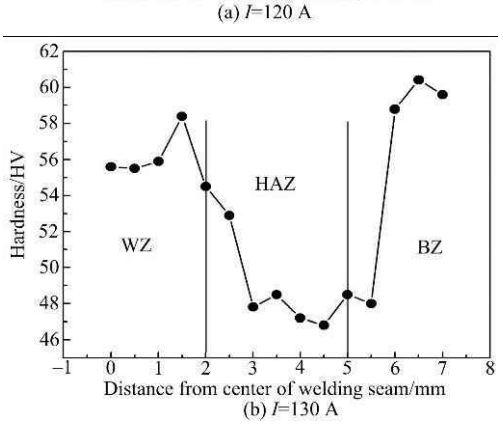
焊接电流/ A	拉伸强度/ MPa	塑性/ %
母材	292.9	18.4
120	241.6	16.3
130	243.5	15.4
140	245.9	15.2
145	248.6	17.2
150	240.2	17.6

2.3　AZ31B镁合金焊接接头的显微硬度

图 4 是不同焊接电流下焊接接头显微硬度分布图。可以看出,在不同的焊接电流下试样的硬度变化趋势一致,焊缝区硬度比母材区有所下降,但下降的程度不是很大,热影响区硬度下降幅度比较大。造成这种趋势的原因是,焊缝区组织为细小的等轴晶,晶粒细小,因此硬度下降不明显,而热影响区由于晶粒大,为典型的过热组织,所以其硬度下降幅度比较大。



(a) I=120 A



(b) I=130 A

©

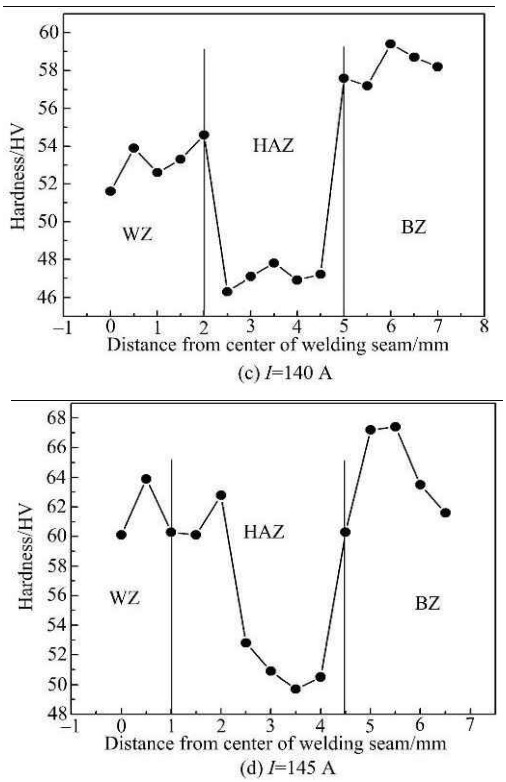


图 4 不同焊接电流下焊接接头的显微硬度分布

Fig. 4 Microhardness distributions of welded joints at different welding current

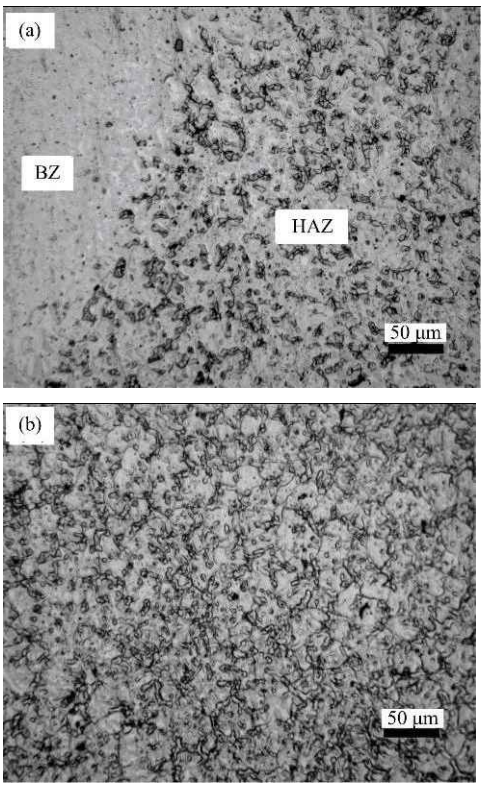


图 5 镁合金焊接接头的微观组织

Fig. 5 Microstructures of welded joint of magnesium alloy

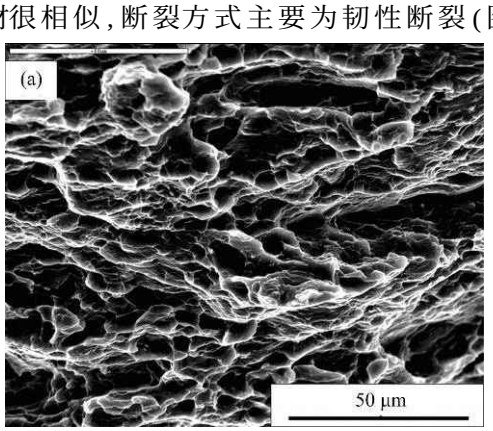
2.4 AZ31B镁合金焊接接头的微观组织

图 5 是焊接电流为 145 A 时镁合金焊接接头的微观组织照片。可以看出,热影响区与母材(图 5(a))分界很明显,热影响区晶粒较粗大,有镁铝金属间化合物 Mg17Al12 析出,呈岛状分布在晶界上。镁合金的熔点低,导热系数大。焊接时,镁板吸收的热量使得热影响区发生晶粒长大。由拉伸实验发现,断裂通常发生在该晶粒粗大的热影响区。

焊缝区组织(图 5(b))为细小的等轴晶,这是由于焊缝区金属在熔融后快速冷却,形核率较大,导致凝固组织细小。焊缝区的析出物较热影响区多,并连续分布在晶界上。焊缝区和热影响区的析出物是焊接时由于镁的挥发导致焊缝区铝含量相对增多,因而形成镁铝金属间化合物 Mg17Al12。

2.5 AZ31B镁合金焊接接头的拉伸断口形貌

从镁合金焊接接头的宏观断面上看,拉伸断口表面粗糙不平,断裂前无明显的缩颈,为韧-脆混合断裂,断裂位置集中在热影响区;母材试样的拉伸断口与受力方向约成 45°角,呈剪切型韧性断裂。图 6 是不同参数下拉伸试样的断口形貌。可以看出,母材的断口有大量的韧窝存在(图 6(a)),断裂方式为韧性断裂[7]。在焊接电流为 130 A 时,焊接试样断口处有大量的河流状的条纹(图 6(b)),韧窝少,看不到明显的塑性变形,断裂发生在热影响区。当焊接电流为 140 A 时,拉伸试样断裂方式为为韧-脆混合断裂,焊接试样断口处河流状的条纹比 130 A 的焊接电流条件下有所减少,同时韧窝增多(图 6(c)),说明试样的塑性有所增加。当焊接电流为 145 A 的时候,焊接拉伸试样断口处出现大量的韧窝,其断口形貌与母材很相似,断裂方式主要为韧性断裂(图 6



©

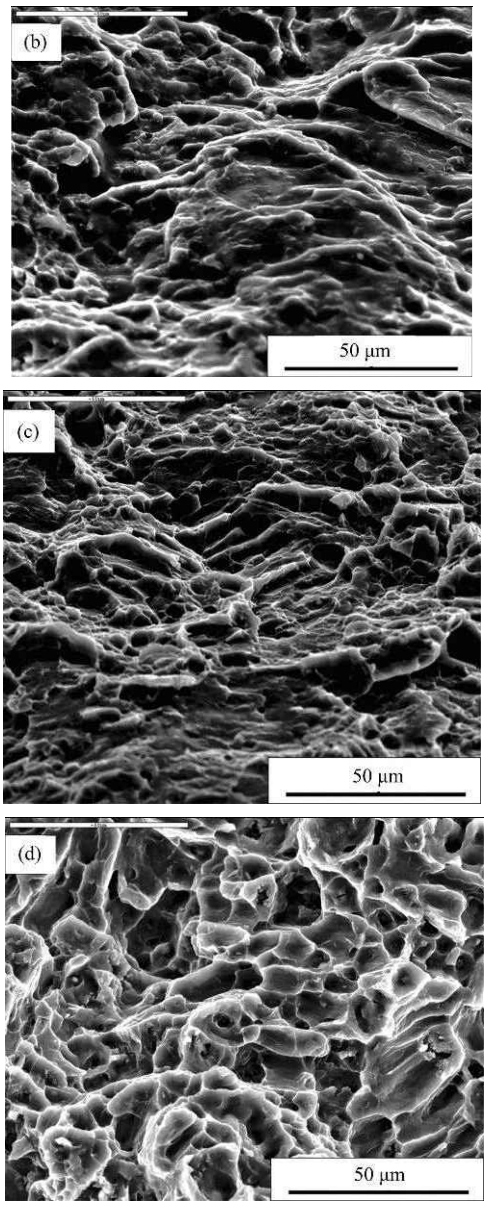


图 6　不同焊接电流下镁合金焊接接头拉伸断口形貌

Fig. 6　Morphologies of the tensile fracture surfaces of welded joints at different welding current

(d)),说明在 145 A 焊接电流下试样的韧性较好。

3　结　论

(1)采用 TIG焊焊接 5 mm 厚 AZ31B 镁合金板时,开 X型坡口,采用双面焊接双面成型工艺,在 130～145 A 焊接电流及合适焊接速度条件下,能得到表面成型良好的焊接接头。

(2)当正反面焊接电流均为 145 A 时,AZ31B 镁合金板焊接接头的抗拉强度达到最大值 248.6 MPa,约为母材强度的 84.0 %。

(3)AZ31B 镁合金板焊缝区显微硬度比母材区有所下降,但下降程度不是很大;热影响区显微硬度下降比较严重。

(4)当焊接电流为 145 A 时,AZ31B 镁合金板焊接拉伸断口有大量韧窝,属韧性断裂。

参考文献:

[1] Mordike B L, Ebert T. Magnesium properties-applications-potential[J]. Materials Science and Engineering A, 2001, 302:37-54

[2] Li Q, Wang Q D, Wang Y X, et al. Effect of Nd and Y addition on microstructure and mechanical properties of as-cast Mg-Zn-Zr alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2007, 427:115-123.

[3] Wang Y X, Guan S K, Zeng X Q, et al. Effects of RE on the microstructure and mechanical properties of Mg-8Zn-4Al magnesium alloy[J]. Materials Science and Engineering A, 2006, 416, 109-118.

[4] Staiger M P, Pietak A M, Huadmai J. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: a review[J]. Biomaterials, 2006, 27:1728-1734.

[5] 冯吉才,王亚荣,张忠典. 镁合金焊接技术的研究现状及应用[J]. 中国有色金属学报,2005(2):60-72.
Feng Ji-cai, Wang Ya-rong, Zhang Zhong-dian. Status and expectation of research on welding of magnesium alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metats, 2005(2):60-72.

[6] 傅定发,张辉,夏伟军. 细晶镁合金的制备方法[J]. 轻合金加工技术,2004(3):41-43.
Fu Ding-fa, Zhang Hui, Xia Wei-jun. Febrication of ultra-fine crystal magnesium alloys[J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2004(3):41-43.

[7] 马怀宪. 金属塑性加工学[M]. 北京:冶金工业出版社,1997:38-44.

©