

# 镁合金变极性等离子缝焊接头 微观组织分析

蒋健博,张兆栋,沈 勇,刘黎明

(大连理工大学 三束材料改性国家重点实验室及材料科学与工程学院,辽宁 大连 116024)

**摘要:**以5 mm厚的变形镁合金AZ31B板材为主要试验对象,研究了变极性等离子缝焊的工艺特点。利用光学显微镜和X射线衍射仪(XRD)等分析测试手段,对焊接接头进行了微观组织分析。结果表明:镁合金变极性等离子缝焊的焊接所得的接头热影响区窄、焊缝区晶粒细小、无Mg17Al12和其他杂质相的存在,无明显缺陷。

**关键词:**变极性等离子缝焊;镁合金;微观组织

**中图分类号:**TG456.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-2303(2006)02-0018-04

## Microstructure of variable polarity plasma seam welding joint for magnesium alloy

JIANG Jian-bo, ZHANG Zhao-dong, SHEN Yong, LIU Li-ming

(State Key Laboratory of Materials Modification & School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** It studies the technical characteristic of the variable polarity plasma seam welding based on the research of magnesium alloy AZ31B of thickness of 5 mm. The microstructure of the seam is investigated by microscope, X-ray and hardness instrument. The results show that favorable joint can be obtained, which heat-affected zone is narrow, the grains of fusion zone (FZ) are tiny, Mg17Al12 phase and evidence disfigurement are not in existence in FZ.

**Key words:** variable polarity plasma seam welding; magnesium alloy; microstructure

## 序言

汽车工业中,传统的焊接工艺如手工电弧焊、氧乙炔焊、手工点焊等焊接方法存在焊缝质量较差、焊后变形大、易产生气孔、焊渣难以清除等缺点;机械化程度较高的气体保护焊和电阻点焊也已不适宜尺寸要求高、变形量小的汽车零部件焊接,因此,高能束焊广泛地应用于汽车工业中<sup>[1]</sup>。而为了减轻汽车自重,改善环境,镁、铝已经成为汽车工业选取的最佳轻金属材料之一。随着科学技术的不断发展,镁板在汽车工业和电子工业的应用会不断增加,镁板的发展和加工新技术也必然会越来越受到

重视<sup>[2]</sup>。变极性等离子缝焊正是符合汽车工业要求的焊接方法。变极性等离子弧焊VPPAW(Variable polarity plasma arc welding)即不对称方波交流等离子弧焊,是一种针对镁、铝及其合金开发的新型高效焊接工艺方法。它综合了变极性TIG焊和等离子焊的优点。一方面,它的特征参数电流频率、电流幅值和正负半波导通时间比例可根据工艺要求灵活、独立调节,合理分配电弧热量,在满足工件熔化和自动去除工件表面氧化膜需要的同时,最大限度地降低钨电极的烧损;另一方面,有效利用等离子束流所具有的高能量密度、高射流速度、强电弧力的特性,在焊接过程中形成穿孔熔池,实现镁、铝合金中厚板单面一次焊双面自由成形。由于焊接变形小、生产率高,与其他高能束流焊接工艺(电子束焊和激光焊)相比,设备简单,成本低且气孔、夹渣等缺陷少,在国外被称为“零缺陷”焊接方法,已成功应

收稿日期:2006-01-20

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-04-0271)

作者简介:蒋建博(1983—),男,山东临朐人,博士,主要从事镁铝异种金属焊接性的研究工作。



用于航天飞机外储箱等产品的焊接生产上,同时被看作在21世纪有着广泛应用前景的焊接方法<sup>[3-5]</sup>。而缝焊具有生产效率高、自动化程度高、焊接变形小、质量稳定等优点,而且这种接头不需要开坡口,装配时没有严格的尺寸要求,焊前准备简单,且横向收缩量极小,但一次性设备投资大,适合大批量生产<sup>[6-7]</sup>。变极性等离子弧焊和缝焊相结合,产生的变极性等离子缝焊的工艺特点和焊接性能满足了汽车工业生产的各项要求。

将变极性等离子缝焊应用到镁合金焊接中,不仅可以提高生产效率,还可以提高工件的质量。随着镁合金在工业应用中的增加,了解变极性等离子缝焊工艺及其焊缝的组织性能,对于提高中厚度镁合金板材的焊接质量和效率是至关重要的。在此,变极性等离子缝焊在镁合金焊接中的应用及接头性能的影响进行了研究,为镁合金的广泛应用提供了技术支持。

## 1 试验设备与材料

试验所采用的焊接设备为VPP-400型变极性等离子弧焊机,离子气和保护气都采用纯度为99.99%的氩气,选用全搭接的接头形式(overlap)即搭接焊,如图1所示。焊接时焊枪位置保持固定,工件随工作平台水平移动,焊接参数如表1所示。本试验选用尺寸为300 mm×100 mm×5 mm的AZ31B镁合金板材作为焊接材料,其化学成分见表2。

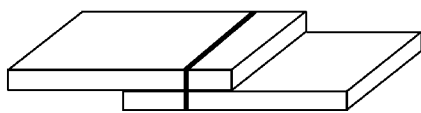


图1 搭接接头形式

表1 变极性等离子缝焊焊接参数

焊接电流 I/A	焊接速度 $v/\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	离子气流量 $Q/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	保护气流量 $Q'/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	喷嘴高度 h/mm
140	300	2	15	2

表2 AZ31B镁合金的化学成分 %

$\omega(\text{Al})$	$\omega(\text{Zn})$	$\omega(\text{Mn})$	$\omega(\text{Ca})$	$\omega(\text{Si})$	$\omega(\text{Cu})$	$\omega(\text{Ni})$	$\omega(\text{Fe})$	$\omega(\text{Mg})$
2.500	0.500	0.200	~	0.040	0.100	0.050	0.005	0.005
~	~	~	~	~	~	~	~	余量
3.500	1.500	0.500						

## 2 试验结果与分析

应用变极性等离子缝焊工艺,对两块搭接镁板进行焊接。经过取样、研磨、抛光和观察照相后,获

得了变极性等离子缝焊焊缝的组织图,如图2所示。由图可知,工件表面成形良好,在焊透上面镁板的情况下,下镁板上形成了呈漏斗状的焊缝,实现了与下面镁板的良好连接。从焊缝的宏观组织图看,上面镁板具有变极性等离子小孔焊的工艺特征——背面熔透均匀,接头的上下表面熔宽尺寸变化小,这将有利于减小应力集中,改善接头的性能。对上面镁板实现变极性等离子小孔焊,是由试验工艺决定的,其试验原理图如图3所示。在上面镁板焊透的情况下,形成等离子小孔焊接,并利用尾焰加热下面镁板,以达到连接的目的。为了进一步了解等离子弧焊接头的组织特征,对焊缝接头进行了微观组织观察,图4为焊缝的微观组织。

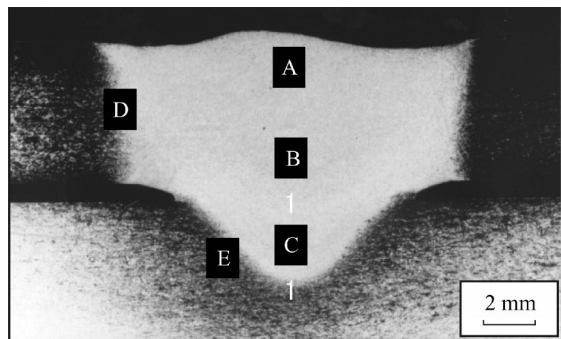


图2 变极性等离子缝焊焊缝宏观组织

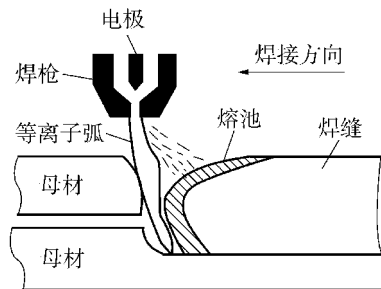


图3 变极性等离子缝焊工艺原理图

由图4a、图4b、图4c可以看到明显的晶界,并且有析出相在晶粒内均匀析出,无明显的焊接缺陷存在。析出相在晶粒内均匀析出,弥散分布,而不是在晶界处偏聚,提高了工件的抗腐蚀性和力学性能,降低了缺陷的出现概率。图4a和图4b所示的组织,由于是在上面镁板实现变极性等离子小孔焊的情况下得到的,热输入量大、散热慢,所以晶粒虽然分布均匀,但还是比较粗大。图4c所示的组织,是在用等离子尾部火焰加热的条件下形成的,热输入量小、散热快,所以晶粒不但分布均匀,而且比较细小。图4a和图4b的晶粒较为粗大,降低了它的力学



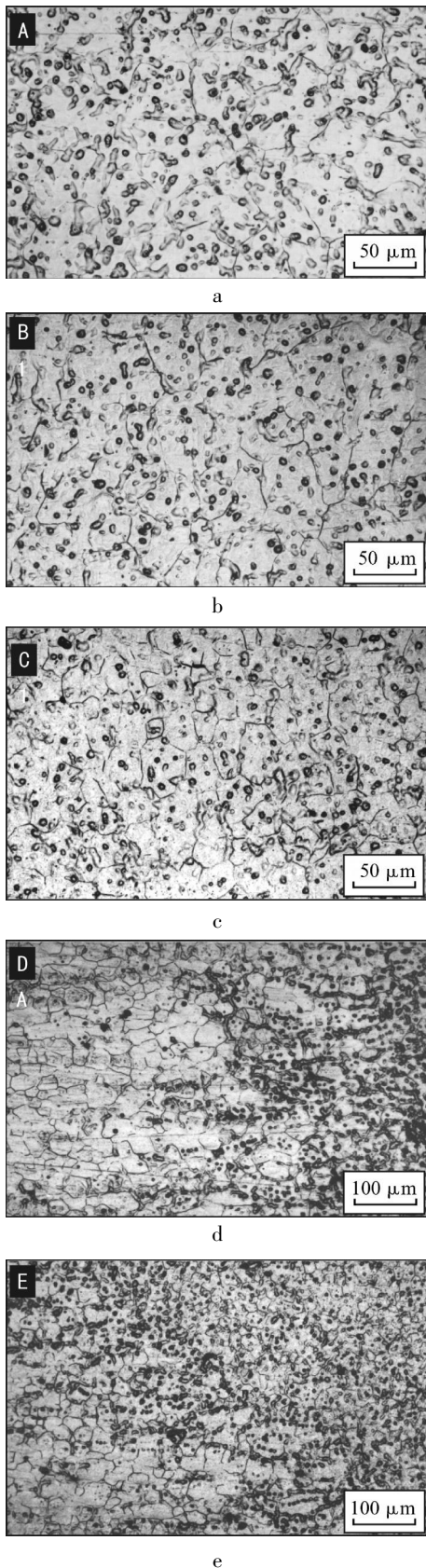


图 4 变极性等离子缝焊焊缝微观组织图

性能,这是由于上面镁板是小孔等离子焊接工艺焊接的,与下面镁板的热熔型等离子焊相比,输入量大、散热慢,使上面工件接头的晶粒较为粗大。图 4d 是工件上面镁板母材到焊缝的过渡区,可以看到从热影响区到焊缝区间的过渡区,热影响区的组织比母材组织粗大,但其宽度很窄,过渡到焊缝边缘后,出现柱状晶,并向焊缝中心方向逐渐长大。图 4e 是工件下面镁板母材到焊缝过渡区,几乎观察不到明显的热影响区组织,在焊缝附近只有少量的晶粒有长大的现象。焊缝区也以细小等轴晶为主,并且均匀分布,只有少量的柱状晶存在。在热影响区与焊缝间的过渡区,只有少量的柱状晶组织存在。并且宽度很窄,长大趋势很小,几乎不存在粗大的柱状晶组织。热影响区和母材与焊缝间的过渡区都比较窄,这是加热时间长短和热扩散条件不同所造成的。上面镁板受热时间长,形成焊缝的温度高,热量扩散缓慢,以至热影响区较宽、母材与焊缝间过渡区较宽、焊缝区组织较为粗大。而下面镁板由于是用等离子火焰尾部加热,受热时间短、形成焊缝的温度低、热量扩散快,所以得到的热影响区窄、母材与焊缝间的过渡区窄、焊缝区组织也十分细小,提高了上下镁板连接的质量。

为了进一步了解焊缝组织特征,对焊缝区金属进行了 X 射线衍射分析,如图 5 所示。结果表明:焊缝为镁的单相组织( $\delta$ -Mg),没有明显的 Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 或其他杂质相的存在。这一结果说明焊缝中的 Al 和 Zn 等合金元素主要是以固溶的形式分散在 Mg 基中,如图 4a、图 4b、图 4c 所示,可以避免像文献[8]提到的在 TIG 焊过程中由于低熔点化合物 Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 在晶界处的连续析出而引起接头性能下降的情况。对焊缝区域的相分析的结果表明,采用能量更为集中的热源,控制焊接过程中的热输入,将有利于改善焊缝内部的元素分布,抑制 Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 等低熔点化合物的形成,提高接头强度。

### 3 结论

a. 变极性等离子弧焊可以实现高速下镁合金的连接,并得到良好的表面成形。它所得接头组织均匀、晶粒细小、熔合线清晰、不存在明显的热影响区。

b. 焊接过程中虽存在镁的蒸发、烧损,但焊缝内部均为单相的 $\delta$ -Mg 组织,没有 Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 或其他杂质相的存在。



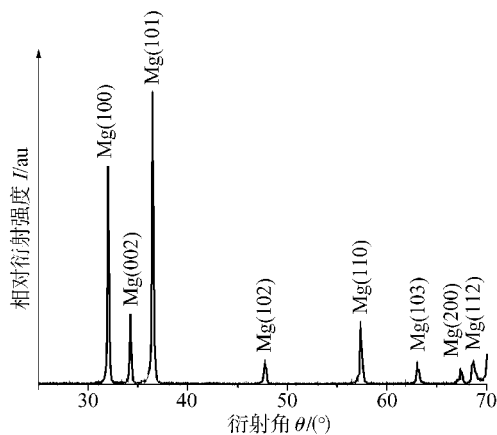


图5 X射线衍射分析

c. 应用变极性等离子缝焊工艺焊接镁合金,不仅可得到良好的焊缝组织,还简化了生产流程、提高生产效率,适用于大批量生产。

#### 参考文献:

[1] 边美华.高能束焊在汽车工业中的应用[J].电焊机,2005,

35(7):9-12.

[2] 苏鸿英.汽车用镁板的加工新技术[J].有色金属工业,2005(1):76.

[3] Craig E.The plasma arc process-a review[J].Welding Journal,1988,67(2):19-25.

[4] Nunes A C,Bayless E O,Jones C O,et al.Variable polarity plasma arc welding on the space shuttle external tank[J].Welding Journal,1984,63(9):27-35.

[5] 刘志华,赵兵,赵青.21世纪航天工业铝合金焊接工艺技术展望[J].导弹与航天运载技术,2002(5):63-68.

[6] 戴文辉.小型薄壁缸筒焊接组合的缝焊原理和工艺分析[J].电焊机,2002,32(2):42-44.

[7] 季润东.搭接接头侧面角焊缝中的剪应力[J].淮海工学院学报,2002(1):15-16.

[8] Toshikatsu ASAHINA,Hiroshi TOKISUE and Kazuyoshi KATOH.Solidification crack sensitivity of TIG welded AZ31 magnesium alloy[J].Journal of Japan Institute of Light Metals,1999,49(12):595-599.

#### Page 17 4.1 参数设定和存储程序设计

AT89S8252 带有 2 k 的 EEPROM,非常适合在线参数存储、调用以及掉电保护的场合。在系统初始化后首先读取 EEPROM,将数据送到 DSP,达到掉电保护及上次焊接参数重现的目的。当调整焊接参数时,单片机将实时的数据传送到 DSP 以更新焊接参数。同时将更新的焊接参数存储到 EEPROM 中。

本研究设计的人机交互系统还可存储 20 组典型焊接规范参数。当要调用以前的典型参数时,首先选择要调用的程序号,按下调用键将焊接参数调出,按下设置键后将焊接参数送往 DSP。

#### 4.2 串口通信抗干扰设计

由于焊接环境比较恶劣和电弧本身的干扰,通信接口要求有较强的抗干扰能力,保证数据传输的正确。为此,采用 RS-485 总线实现单片机和 DSP 之间的通信。

除了在硬件上提高系统抗干扰能力外,同时在软件方面也要提高系统的抗干扰能力。为了保证焊接规范参数传输的正确性,采用自定义的传输协议,同时采用数据校验和的方式进行数据校验。

面板和 DSP 通信时采用相同的数据协议,通讯数据格式定义如表 2 所示。

表2 面板与 DSP 通讯数据格式定义

参数标识	参数低字节	参数高字节	校验码
------	-------	-------	-----

校验码取参数标识、参数高字节和低字节的加和,校验码定义为两字节数据。当 DSP 接收到数据后,将接收到的除校验码外的数据加和,与校验码比较,如果相同则表明数据发送正确,DSP 向单片机发送正确接收信号,同时更新焊接参数,否则发送错误信号,要求重新发送。当出现连续五次的错误信号后,在面板上给出错误信息。通过此数据校验的方法,以保证数据传输的正确性。

#### 5 结论

针对基于 DSP TMS320F2812 薄板铝合金变极性脉冲焊接电源,选用新型的智能键盘显示芯片 SD7218A,以 AT89S8252 为控制核心设计了人机交互系统。为保证数据传输正确,在硬件方面采用 RS-485 总线实现 DSP 与单片机的通信,在软件上采用数据校验和的方式。试验证明,系统稳定可靠,操作方便、灵活,具有很好的抗干扰性。

#### 参考文献:

[1] 孙玉才,王荣兴,孙华芳.新型 AT89S52 系列单片机及其应用[M].北京:清华大学出版社,2005.

[2] 李广弟,朱月秀,王秀山.单片机基础(修订版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2004.

