

# SiC 颗粒增强铝基复合材料氦-氩混合气体 TIG 焊研究

陈永,汪喜和,刘胜新,乔晓燕,关绍康,牛济泰  
(郑州大学 材料科学与工程学院,河南 郑州 450002)

**摘要:**以氦-氩混合气体为保护气氛,采用添加铝硅焊丝的方法对 SiC 颗粒增强铝基复合材料进行了 TIG 焊的研究。获得良好焊缝的最佳工艺参数为:焊接电流 60 A,氦-氩混合气体流量 115 mL/s,焊接速度 3.2 mm/s。金相组织观察表明,焊缝区全部由均匀细小的等轴晶组成,热影响区组织较粗大。焊件的抗拉强度为母材的 70%左右,断裂发生在热影响区,属于韧-脆混合断裂。

**关键词:**氦-氩混合气体;SiC 颗粒增强;铝基复合材料;TIG 焊

**中图分类号:**TG457.14 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2007)07-0028-04

## Research on TIG welding of He-Ar mixed gas for SiCp/6061 Al composite

CHEN Yong, WANG Xi-he, LIU Sheng-xin, QIAO Xiao-yan, GUAN Shao-kang, NIU Ji-tai  
(School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Taking the He-Ar mixed gas as protected atmosphere, the TIG welding with filter wire for SiCp/6061 Al composites were investigated in this paper. When the current, gas-flow rate and welding speed of He-Ar mixed gas are 60 A, 115 mL/s and 3.2 mm/s, respectively, the good quality weld joint is obtained. The microstructure examined have shown that the microstructures in welded seam zone consist of finer equiaxed grains, while the microstructure in heat-affected area is coarser than that in matrix zone. The tensile strength of the welded joint is about 70% of the matrix. The breaking point lies in the heat-affected zone and the mixed fracture of toughness and brittleness was observed.

**Key words:** He-Ar mixed gas; SiCp reinforcement; Al matrix composite; TIG welding

## 0 前言

SiC 颗粒增强铝基复合材料具有比强度和比模量高、热膨胀系数小、尺寸稳定性好、耐高温耐磨损等优点,广泛应用于航空、航天、先进武器系统及民用工业部门等领域<sup>[1-2]</sup>。与长纤维增强铝基复合材料相比, SiC 颗粒强铝基复合材料由于具有成型难度低、各向异性小、生产成本低等特点,近年来在国内外得到了迅速发展。众所周知,只有被加工成结构件才能使材料具有真正的使用价值,焊接是形成结构件必不可少的加工手段。当前,铝基复合材料的制备工艺、塑性成型工艺、冷机械加工工艺以及热处理

工艺、表面处理工艺等已开展了大量研究工作,取得了相当的研究成果并逐渐走向应用。唯有可焊性和焊接工艺的研究异常落后,这已成为该材料进入商业化生产阶段的严重障碍。世界上铝基复合材料研制与应用最好的国家是美、日、俄等国,然而在焊接领域的研究也只局限于扩散焊、钎焊、电阻焊等固相焊或压力焊方法,接头的强度只有母材的 50%左右,资料表明<sup>[3-4]</sup>,只有采用熔焊才能增强铝基复合材料焊接接头性能及接头的适应性。在国内外对铝基复合材料需求日益高涨的形势下,加强铝基复合材料焊接技术的开发对其产业化具有重要的现实意义。本研究以 SiCp/6061 铝基复合材料为研究对象,以氦-氩混合气体为保护气氛,采用 TIG 交流焊焊接工艺,获得了良好的焊缝,为铝基复合材料的焊接提供了参考。

收稿日期:2007-04-24

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)资助项目(2006AA03Z568)

作者简介:陈永(1967-),男,河北辛集人,工程师,在读硕士,主要从事轻金属焊接方面的研究工作。



## 1 试验方法

试验材料为 SiC 颗粒增强铝基复合材料, 基体为 6061 铝合金。用搅拌铸造法和后续热辗压将 SiCp/6061Al 复合材料制成 3 mm 厚的板材, 显微组织如图 1 所示。在基体中均匀分布的增强相 SiCp 颗粒直径 10 μm 左右, 体积分数 10%~16%, 退火状态下的拉伸强度 271 MPa。

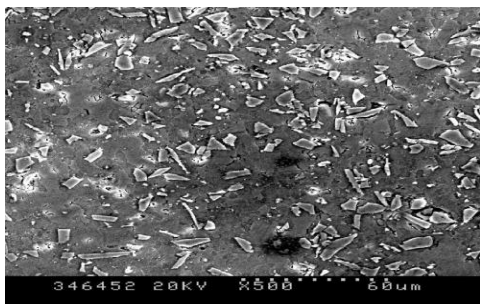


图 1 母材 SEM 形貌

将铝基复合材料加工成尺寸为 60 mm×30 mm×3 mm 的板状试件后, 用砂纸打磨材料表面去除淬硬层, 再用丙酮清洗油污及杂质, 接头结构采用不开坡口的对接形式, 如图 2 所示。压条的作用是防止试件在焊接过程中发生错位, 紫铜托板可起到加速焊缝冷却的作用, 托板上的凹槽可以控制焊透性和根部形状, 焊件两边分别加有引弧板和收弧板。

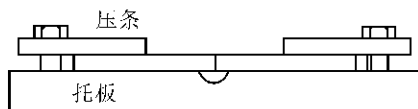


图 2 接头结构

采用手工填丝 TIG 焊, 电弧长度约为 4 mm, 其他工艺参数与不填丝 TIG 焊相同。所用焊丝为自制药芯焊丝, 其化学成分见表 1, 焊丝焊前打磨干净。焊枪与试件成 75°~80°角, 焊丝与试件成 10°~15°角, 向前快速送入熔池中。

表 1 Al-Si 焊丝的化学成分 %

$\omega$ (Si)	$\omega$ (Mn)	$\omega$ (Fe)	$\omega$ (Mg)	$\omega$ (Ti)	$\omega$ (Ca)	$\omega$ (Cu+Zn)	$\omega$ (Al)
12.00	≤0.50	≤0.50	≤0.05	≤0.15	≤0.10	≤0.15	余量

采用日本生产的 WSE-315 多功能 TIG 焊机, 选用交流方波电流, 钨极直径 2.5 mm, 喷嘴直径约 7 mm, 采用氦-氩混合气体做为保护气氛, 氦气与氩气的纯度均为 99.99%。

将焊后试样垂直于焊缝锯开, 经研磨、抛光后, 采用 20% 氢氟酸酒精溶液进行腐蚀, 利用 Olympus 光学显微镜观察试样显微组织并采集金相照片。将

焊后薄板加工成拉伸试样, 如图 3 所示。在电子万能试验机上进行接头拉伸试验, 拉伸速度 1.0 mm/min, 使用 QUANTA 200SEM 设备进行断口电镜扫描。

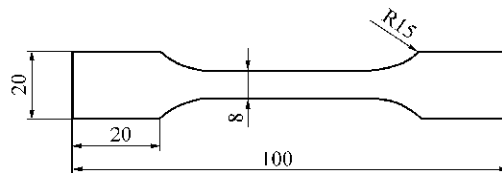


图 3 拉伸试样尺寸

## 2 试验结果与讨论

采用正交试验法优化得到最佳焊接工艺参数为: 电流强度 60 A, 气体流量为 115 mL/s, 焊接速度 3.2 mm/s。氦-氩混合比为 1:1 情况下电弧形态如图 4 所示, 图 4a 是含 50% 氦气的焊接电弧形态, 图 4b 是含 60% 氦气的焊接电弧形态。由图可以看出, 随着氦气的增加, 电弧稳定性降低, 保护效果差, 飞溅严重。当混合气体中氦气的体积百分数为 50% 时, 电弧燃烧稳定, 阴极清理作用好, 电弧温度较高, 热能输入大, 工件熔透较深。氩气密度比空气大, 而比热容和热导率比空气小, 这些特性使氩气具有良好的保护作用 and 稳弧作用。和氩气相比, 氦气电离电位高, 热导率大, 在相同的焊接电流和电弧长度条件下, 氦弧的电弧电压比氩弧高(即电弧的电场强度高), 使电弧有较大的功率。并且氦气冷却效果好, 使得电弧能量密度大, 弧柱细而集中, 焊缝有较大的熔透率。焊缝表面光滑, 出现了鱼鳞状凝固波纹且无堆高、无裂纹和气孔的焊缝, 板材几乎没有变形, 外观成型美观, 没有发生 SiCp 增强相析出和隆起, 如图 5 所示。



a 50% 氦气



b 60% 氦气

图 4 电弧形态

专题讨论——有色金属焊接工艺及设备

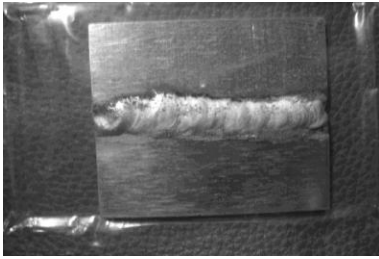
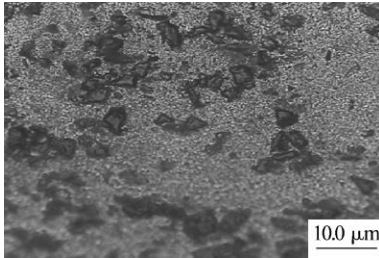
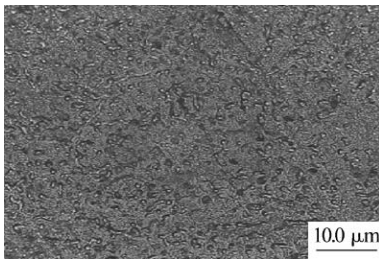


图 5 焊缝外观

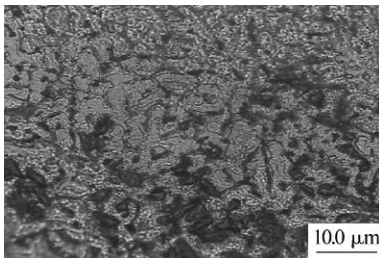
由于焊接热循环的作用以及焊材的物理特性, SiC 颗粒增强铝基复合材料焊接接头母材、热影响区、熔合区及焊缝的显微组织有其各自的特点, 如图 6 所示。



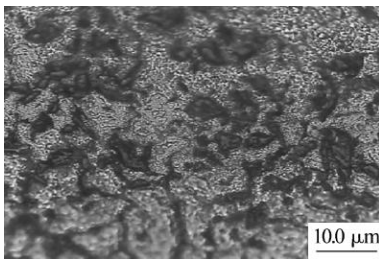
a 母材



b 焊缝区



c 熔合区与焊缝区

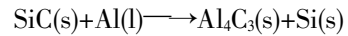


d 母材和热影响区

图 6 焊接接头显微组织

在焊接过程中, 焊缝区的母材吸收大量的热而熔化, 凝固时由于 SiC 颗粒增强铝基复合材料的导热系数大, 散热快, 促进了焊缝区金属的快速凝固结晶, 从而导致了焊缝区的晶粒细化; 此外, 保护气体对熔池的搅拌作用也促进了焊缝区等轴晶的生长, 如图 6b 所示; 焊缝中心为与增强相混在一起的等轴晶, 往熔合线方向逐渐显示为柱状晶铸造组织, 熔合区是焊缝与基体金属形成的一种交互结晶, 如图 6c 所示。由图可以看出, 液态金属依附熔池中基本金属晶粒表面结晶形成柱状晶, 与弥散在基材中的增强相 SiC 颗粒形成晶界比较粗大的区域; 热影响区内晶粒明显粗化, 如图 6d 所示。从上述观测可知, 由于在焊缝中心靠近熔合线附近有较多的增强相存在和界面推移效应, 在一定程度上提高了焊缝的力学性能。

为了改善熔池的流动性, 抑制有害的界面反应, 从而获得高质量的焊缝成型, 应尽量抑制  $Al_4C_3$  的生成。抑制界面反应方法之一是从下面反应方程式入手:



上式反应的起始反应温度为  $800\text{ }^\circ\text{C}$ , 而且随着温度的升高, 反应更加剧烈。反应进行的程度与熔池中硅的活度值密切关系, 图 7 为不同硅活度值下熔池中反应自由能与温度之间关系曲线。由图 7 可以看出, 随着温度的升高, 反应自由能  $\Delta G$  降低; 在相同温度下, 随着硅活度值  $\alpha_{[Si]}$  的增加, 熔池中反应自由能  $\Delta G$  明显升高, 从而抑制了熔池中的界面反应。

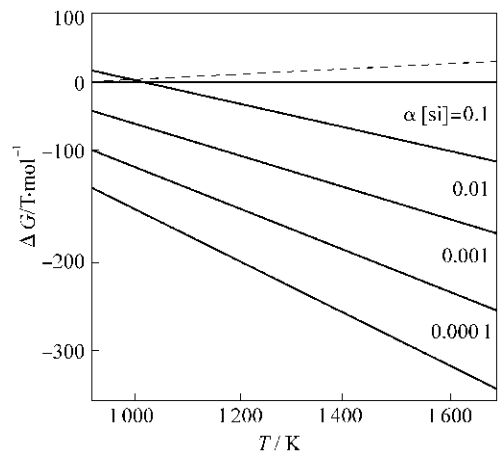
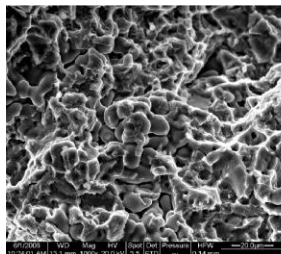


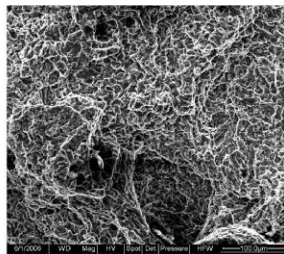
图 7 熔池中  $\Delta G$  与焊接温度  $T$ 、硅活度  $\alpha[Si]$  的关系曲线

拉伸试验结果表明, 焊后试件抗拉强度  $240\text{ MPa}$ , 达到母材强度的  $70\%$  左右, 从断口扫描图像(见图 8)来看, 焊件的断口是解理和塑坑组成的混合断口, 为韧-脆混合断裂。

专题讨论——有色金属焊接工艺及设备



a 质量良好接头



b 有缺陷的接头

图 8 拉伸断口的微观形貌(SEM)

### 3 结论

(1)采用氦-氩混合气体对 SiC 颗粒增强铝基复合材料进行 TIG 焊,可得到质量优良的焊缝。

(2)最佳焊接工艺参数:焊接电流 60 A,氦-氩混合气体流量 115 mL/s,焊接速度 3.2 mm/s。

(3)SiC 颗粒增强铝基复合材料板材的接头强度可达到母材强度 70%左右,焊件的断裂主要发生在热影响区,断口属于韧-脆混合断裂。

### 参考文献:

- [1] 克莱因 T W,威瑟斯 P J.金属基复合材料导论[M].北京:冶金工业出版社,1996.
- [2] 吴人杰.金属基复合材料的现状与展望[J].金属学报,1997,33(1):78-84.
- [3] 牛济泰,刘黎明,韩立红.铝基复合材料焊接研究现状与展望[J].哈尔滨工业大学学报,1999,31(1):130-132.
- [4] 牛济泰.焊接手册——复合材料的焊接[M].北京:机械工业出版社,2001.

### 什么是层间温度如何正确选择层间温度

对焊件进行多层多道焊时,当焊接后道焊缝时,前道焊缝的最低温度,称为层间温度。对于要求预热焊接的材料,当需要进行多层焊时,其层间温度应等于或略高于预热温度,如层间温度低于预热温度,应重新进行预热。

焊接奥氏体不锈钢时,为保持焊接接头有较高的耐蚀性,需要有较快的冷却速度,因此需要控制较低的层间温度,即在前道焊缝冷却到较低温度时,再进行后道焊缝的焊接。