

文章编号 : 0258-7025(2001)01-0085-04

SiCp/6061Al 金属基复合材料焊缝“原位” 合金化激光焊接研究*

陈永来 于利根 王华明

(北京航空航天大学激光材料加工与表面工程实验室 北京 100083)

摘要 以 Ti 作为合金化元素对 SiCp/6061Al 金属基复合材料(SiCp/6061Al MMC)进行焊缝“原位”合金化激光焊接。研究了焊缝“原位”合金化元素 Ti 添加量对焊缝显微组织的影响。结果表明,采用焊缝“原位”合金化方法激光焊接 SiCp/6061Al MMC,可以有效抑制焊缝中针状脆性相 Al_4C_3 的形成,并获得以均匀分布 TiC、 Ti_5Si_3 等为增强相的新型金属基复合材料焊缝。焊缝“原位”合金化激光焊接是焊接 SiCp/Al 复合材料的一种新方法。

关键词 SiCp/6061Al 金属基复合材料 激光焊接 焊缝“原位”合金化 Al_4C_3 TiC Ti_5Si_3

中图分类号: TG 456.7 文献标识码: A

“In-situ”Weld-Alloying/Laser Beam Welding of SiCp/6061Al MMC

CHEN Yong-lai YU Li-gen WANG Hua-ming

(Laboratory of Laser Materials Processing and Surface Engineering, Beijing University
of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract “In-situ”weld-alloying/laser beam welding is utilized to join SiCp/6061Al MMC with titanium as alloying element. Microstructure of the weld is characterized as functions of alloying content and laser processing parameters. Results show that the needle-like harmful phase Al_4C_3 is completely eliminated and a novel composite reinforced by TiC and Ti_5Si_3 is produced in the weld of SiCp/6061Al MMC by “in-situ”weld-alloying/laser beam welding with titanium as the alloying element. “In-situ”weld-alloying/laser beam welding is a new promising method for joining of SiCp/6061Al MMCs.

Key words SiCp/6061Al MMCs, laser beam welding, “in-situ”weld-alloying, aluminum carbide, titanium carbide, titanium silicide

1 引 言

焊接技术是 SiC 颗粒增强铝基复合材料(SiCp/Al MMCs)实用化进程中必须解决的关键制造技术之一。但同常规铝合金相比,由于其显微组织组成的高度不均匀性,在焊接过程中 SiC 颗粒增强相大量溶解及增强相 SiC 与铝合金基体间的界面反应,导致在焊缝中形成大量针片状 Al_4C_3 或 Al_4SiC_4 脆性相^[1],使焊缝力学性能严重下降。因此,抑制焊缝中针状脆性相 Al_4C_3 及 Al_4SiC_4 的形成,是实现 SiCp/Al MMCs 成功焊接的关键问题。

以前的研究工作表明,对 SiCp/Al MMC 即便采用激光焊接技术并调整激光输出功率以及焊接速度,也只能使脆性相 Al_4C_3 在尺寸和数量上发生变化,而不能完全抑制其产生^[6,7]。因此要抑制脆性相 Al_4C_3 在焊缝中的形成,必须寻求新的焊接方法。受文献^[8]的启发,本文采用焊缝“原位”合金化激光焊接方法对 SiCp/6061Al MMC 进行焊接,即以金属钛作为合金化元素在 SiCp/6061Al 复合材料激光焊接过程中对焊缝进行“原位”合金化,以抑制焊缝中针状脆性相碳化铝的形成,研究了“原位”合金化元素 Ti 含量及焊接工艺参数对焊缝显微组织的影响。

2 试验方法

实验材料为采用包套挤压粉末冶金方法制备

* 国家自然科学基金(编号:59971003)及国家教委优秀青年教师基金资助项目。

收稿日期:1999-08-09;收到修改稿日期:1999-09-24

的直径为 30 mm 的 SiC 颗粒增强铝基复合材料 (SiCp/6061Al MMC) 棒材, SiC 颗粒的体积含量为 25%, 平均直径为 3.6 μm 。6061 铝合金的化学成分为: Al-0.40.8Si-0.81.2Mg-0.7Fe-0.150.4Cu-0.15Mn-0.25Zn-0.15Ti (wt-%)。用线切割方法自 ϕ 30 mm SiCp/6061Al MMC 棒材上切取厚度为 4

mm 的圆片, 然后从中间剖开作为激光焊接试样。

采用 5 kW 连续 CO₂ 激光器以 Ti 金属片作为焊缝“原位”合金化填充材料对 SiCp/6061Al MMC 进行激光焊接, 通过改变填充材料 Ti 片的厚度来调整合金化元素添加量。本实验选用两种厚度的 Ti 金属片 (宽度为 30 mm), 工艺参数见表 1。

表 1 SiCp/6061Al 复合材料焊缝“原位”合金化激光焊接工艺参数

Table 1 “In-situ” weld-alloying/laser beam welding parameters

Type of alloying element	Thickness of alloying plate/mm	Laser density /kW	Welding speed /mm·min ⁻¹	Defocus /mm
Ti	0.3	2.5	500	-1
Ti	0.6	2.5	300	-1

按常规金相方法制备试样, 分别用光学显微镜 (OM) 和扫描电镜 (SEM) 分析显微组织, 用 X 射线衍射方法 (XRD) 结合能谱分析 (EDS) 进行物相鉴定。

3 试验结果及讨论

图 1 为添加厚度为 0.3 mm 金属 Ti 片 SiCp/6061Al MMC 试样焊缝“原位”合金化激光焊接接头宏观形貌。可见, 采用焊缝“原位”合金化方法焊接 SiCp/6061Al MMC, 可得到气孔较少、表面光洁、内

合金化方法焊接 SiCp/6061Al MMC 是可行的。

图 2 为添加厚度为 0.3 mm 金属 Ti 片 SiCp/6061Al MMC 试样焊缝“原位”合金化激光焊接接头焊缝中部、焊缝过渡区与热影响区的典型显微组织照片。可见, 在焊缝熔池中部未见到针状 Al₄C₃ 脆性相, 只有大量细小的形状不规则的新相存在 (见图 2(a)(b))。根据 X 射线衍射结果 (见图 3) 与该区域的元素面分布像 (见图 4), 可以确定该新生相为 TiC 相。在焊缝向基材的过渡区中则有少量灰色片状组织形成 (图 2(c)(d)), 其化学成分能谱分析结果为: C 16.71, Al 72.24, Si 10.15, Ti 0.90 (at.-%), 因而该片状组织为 Al₄SiC₄ 相。在焊接接头热影响区中未见到有针状脆性相 Al₄C₃ 形成, 只是基体铝合金在焊接过程中由于受热发生了回复与再结晶 (见图 2(e)(f))。这表明采用焊缝“原位”合金化方法对 SiCp/6061Al MMC 进行激光焊接, 可以有效地抑制针状有害相 Al₄C₃ 在焊缝中的形成。这是因为合金元素 Ti 对 C 的亲合力要比 Al 大得多, 因此, 在熔池冷却凝固过程中, 优先凝固析出了 TiC 相, 从而抑制了 Al₄C₃ 相的形成。在过渡区, 由于熔池中 Ti 的含量相对较少, 不能把熔体中 SiC 颗粒熔解所产生的 C 完全耗尽而形成了少量 Al₄SiC₄ 脆性相。



图 1 添加厚度为 0.3 mm 金属 Ti 片 SiCp/6061Al MMC 试样焊缝“原位”合金化激光焊接宏观形貌

(焊接工艺参数: 激光输出功率 2.5 kW, 焊接速度 500 mm/min, 光斑直径 1.0 mm)

Fig.1 Overview of the laser beam welded joint on SiCp/6061Al MMC “in-situ” weld alloyed with 0.3 mm thick titanium filler-plate

(laser beam welding parameters: laser beam power 2.5 kW, welding speed 500 mm/min, beam diameter 1.0 mm)

部组织致密的焊接接头。焊缝中气孔的存在, 是因为基体铝合金在激光束照射下极易与环境中的水蒸气发生反应, 生成氢气, 而氢在液态铝中的溶解度远大于在固态铝中的溶解度, 并且激光焊接过程中熔池的冷却速度非常快, 导致焊缝熔池中的氢气来不及逸出而形成气孔。尽管有少量气孔产生, 但从焊接接头表面质量来看, 采用焊缝“原位”

合金化元素 Ti 添加量强烈地影响着焊缝显微组织形态。图 5 为添加 0.6 mm Ti 金属片 SiCp/6061Al MMC 试样焊缝“原位”合金化激光焊接焊缝 X 射线衍射分析结果。与图 3 比较发现, 随着合金化元素 Ti 添加量增加, 除有 TiC, Ti₂AlC 相的衍射峰出现外, 还出现了 Al₃Ti, Ti₅Si₃ 衍射峰, 这说明随着合金化元素 Ti 添加量增加, 焊缝显微组织中有更

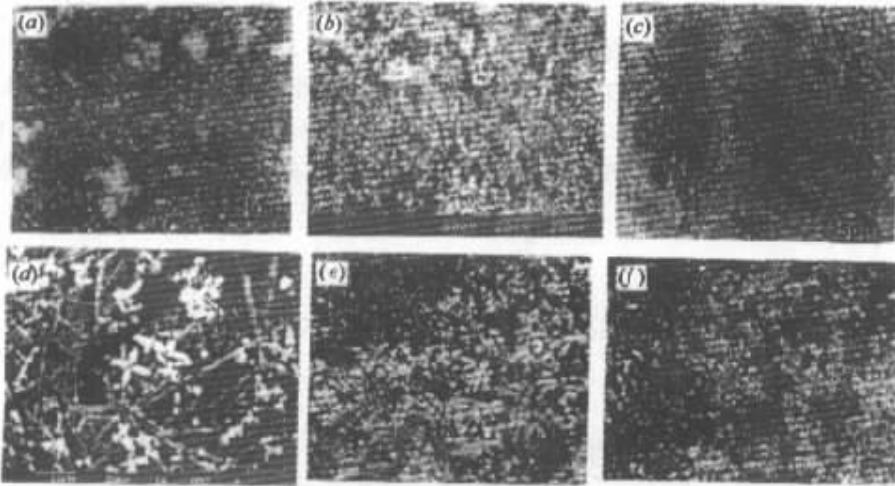


图 2 添加厚度为 0.3 mm 金属 Ti 片 SiCp/6061Al MMC 试样焊缝“原位”合金化激光焊接接头显微组织 (a)(b):焊缝中部显微组织 OM 与 SEM 照片;(c)(d):焊缝过渡区显微组织 OM 与 SEM 照片;(e)(f):热影响区显微组织 OM 与 SEM 照片(焊接工艺参数:激光输出功率 2.5 kW,焊接速度 500 mm/min,光斑直径 1.0 mm。下同)

Fig.2 Weld microstructure of the laser welded SiCp/6061Al MMC “in-situ” weld-alloyed with 0.3 mm thick titanium filler-plate

(a) OM and (b) SEM micrographs showing microstructure in the central of weld ,(c) OM and (d) SEM micrographs showing microstructure near the bottom of weld ,(e) OM and (f) SEM micrographs showing microstructure of the heat affected zone (laser beam welding parameters : laser beam power 2.5 kW , welding speed 500 mm/min , beam diameter 1.0 mm. Similarly hereinafter)

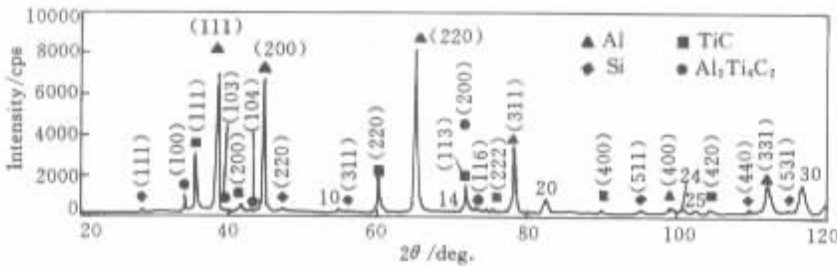


图 3 添加厚度为 0.3 mm 金属 Ti 片 SiCp/6061Al MMC 试样焊缝“原位”合金化激光焊接接头 X 射线衍射分析结果

Fig.3 XRD results of the laser beam welded joint on SiCp/6061Al MMC “in-situ” weld-alloyed with 0.3mm thick titanium filler-plate

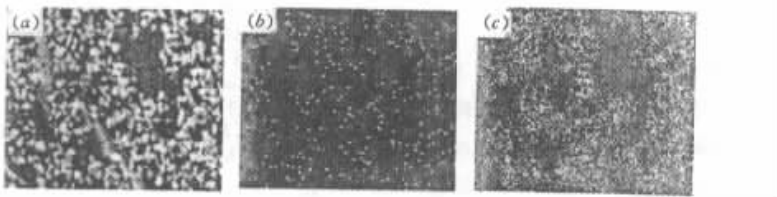


图 4 添加厚度为 0.3 mm 金属 Ti 片 SiCp/6061Al MMC 试样焊缝“原位”合金化激光焊接焊缝熔区处显微组织的合金元素面分布

(a)二次电子 SEM 照片;(b)C 元素面分布;(c)Ti 元素面分布

Fig.4 Elements distribution of the microstructure in the laser beam welded SiCp/6061Al MMC “in-situ” weld-alloyed with titanium (filler-plate 0.3 mm in thickness) as alloying element

(a)secondary electron SEM image ,(b)element distribution map of C and (c) element distribution map of Ti

多新相形成。该试样的焊缝熔区中部的典湮显微组织如图 6 所示。在焊缝熔区中不仅有大量细小

的不规则组织,还有呈近似六边形状的块状组织存在。该块状相化学成分能谱分析结果为 :C 0.76 ,

