复合材料学报 第17卷 第4期 11月 2000年
ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Vol 17 No. 4 November 2000

文章编号: 1000-3851(2000)04-0063-03

合金化填充材料Ni对SiCp/6061Al复合材料激光焊接焊缝显微组织的影响

陈永来, 于利根, 王华明
(北京航空航天大学 材料系 激光材料加工与表面工程实验室, 北京 100083)

摘 要: 以Ni片作为合金化填充材料对SiCp/6061Al金属基复合材料(SiCp/6061AlMMC)进行激光焊接, 研究了激光输出功率、焊接速度等焊接工艺参数对焊缝显微组织的影响。结果表明, 采用金属Ni片作为合金化填充材料对SiCp/6061AlMMC进行激光焊接, 可以在一定程度上抑制SiC颗粒的溶解及针状脆性相Al_4C_3的形成, 并获得以Al_3Ni等相为增强相的焊缝显微组织, 但在焊缝心部有粗大的气孔形成。

关键词: SiCp/6061Al复合材料; 激光焊接; 合金化填充材料; Al_3Ni
中图分类号: TB331 **文献标识码**: A

EFFECT OF ALLOYING FILLER METAL ADDITION ON MICROSTRUCTURE OF LASER BEAM WELDED SiCp/6061AlMMC

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, China)

Abstract: A SiC particle reinforced aluminum alloy metal matrix composite, SiCp/6061AlMMC, is welded by laser beam welding using nickel plates as alloying filler metal. Microstructure of the weld is characterized as functions of laser processing parameters. Results show that the dissolution of reinforcement SiC particles and formation of the needle-like harmful Al_4C_3 phases are noticeably suppressed using nickel as the alloying filler metal. The new reinforcements, such as Al_3Ni, AlNi, etc, are produced in-situ in the weld by laser beam welding of SiCp/6061AlMMC using nickel plate as alloying filler metal.

Key words: SiCp/6061AlMMC; laser beam welding; alloying filler metal; Al_3Ni

在进行SiC颗粒增强铝基复合材料(SiCp/AlMMC)的激光焊接时, 由于增强相SiC与铝合金基体在物理、化学性质上的巨大差异, 在熔化焊接过程中增强相SiC颗粒大量溶解而在焊缝中形成大量针片状脆性相Al_4C_3[1~7], 使焊缝力学性能严重下降, 因此, 抑制焊缝中脆性相Al_4C_3的形成, 是SiCp/Al复合材料成功焊接的关键问题。抑制焊缝中脆性相Al_4C_3的形成, 可以从以下两方面着手: 一是提高熔体中元素C和Si的活度以减轻SiC颗粒在焊接过程中的熔解; 二是加入Ti等强碳化物形成元素对焊缝进行"原位"合金化, 使其在凝固过程中优先与碳结合形成高稳定的碳化物, 从而抑制脆性相Al_4C_3的形成[7~9]。由于元素Ni可以提高钢铁及铝合金熔体中碳的活度[10], 因此, 在SiCp/Al复合材料激光焊接过程中加入金属Ni片作为合金化填充材料对焊缝进行合金化, 有可能减弱增强相SiC颗粒的溶解, 从而抑制脆性相Al_4C_3的形成。为此, 本文以金属Ni片作为合金化填充材料对SiCp/6061Al复合材料进行激光焊接, 研究了焊接工艺参数(激光输出功率、焊接速度等)对焊缝显微组织的影响。

收稿日期: 1999-12-16; 收修改稿日期: 2000-04-30
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(项目号59971003)
作者介绍: 陈永来(1972), 男, 博士研究生, 研究方向为激光材料加工。
王华明(1962), 男, 博士, 教授, 研究方向为激光材料加工与表面工程。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1　实验方法

实验材料为采用铝包套挤压粉末冶金方法制备的直径为 30mm 的 SiC 颗粒增强铝基复合材料(SiC$_P$/6061Al MMC)棒材, SiC 颗粒的体积含量为 25%, 平均直径为 3.6μm。6061 铝合金的化学成分为: Al-0.4～0.8, Si-0.8～1.2, Mg-0.7, Fe-0.15～0.40, Cu-0.15, Mn-0.25, Zn-0.15 Tiwt%。用线切割方法自 φ30mm SiC$_P$/6061Al MMC 棒材上切取厚度为 4mm 的圆片, 然后从中间割开作为激光焊接试样。采用 5kW 连续 CO_2 激光器, 以 0.3mm 厚金属 Ni 片作为合金化填充材料对 SiC$_P$/6061Al MMC 进行激光焊接, 工艺参数为: 激光输出功率 2.5kW, 焊接速度 400mm/min, 光斑直径 1.0mm, 光束模式 TEM$_{01}$。按常规金相方法制备试样, 分别采用 OM 和 SEM 分析显微组织, 用 X 射线衍射方法(XRD)与能谱分析(EDS)进行物相鉴定。

2　实验结果及讨论

图 1 为以 0.3mm 厚金属 Ni 片作为合金化填充材料的 SiC$_P$/6061Al MMC 试样激光焊接接头 X 射线衍射分析结果。可见, 以金属 Ni 片作为合金化填

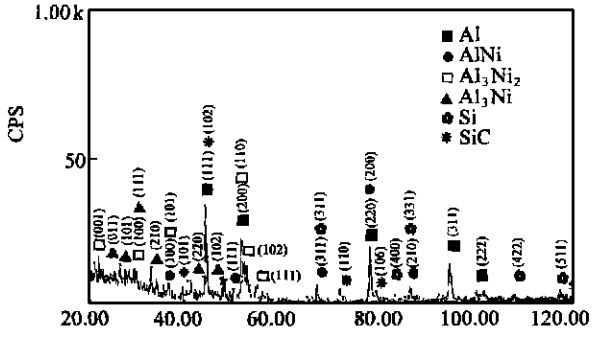
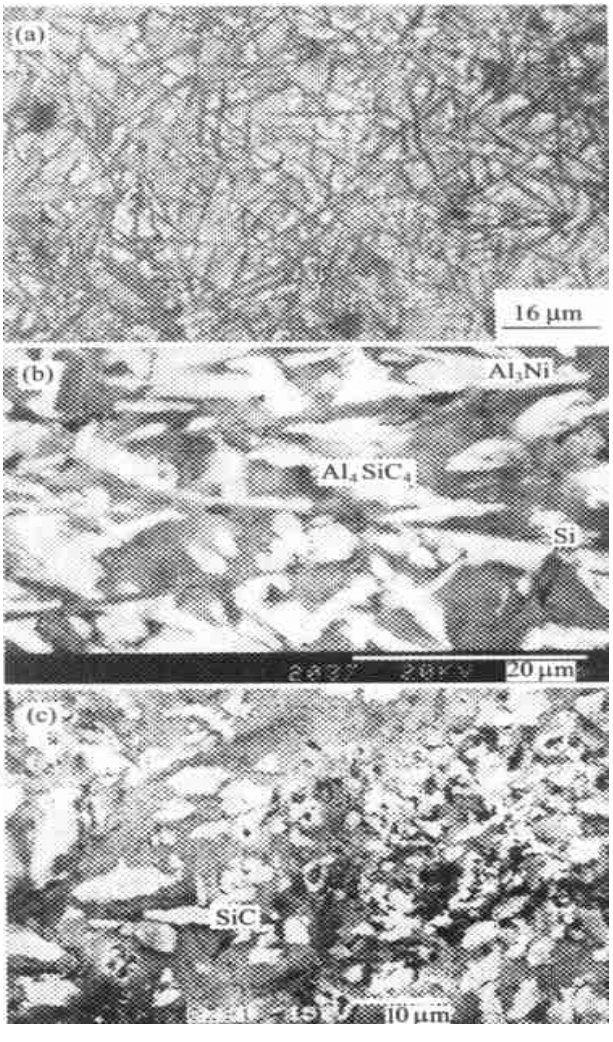


图 1　以金属 Ni 片作为合金化填充材料的 SiC$_P$/6061Al MMC 试样激光焊接接头 X 射线分析结果

Fig. 1　XRD result of the laser beam welded SiC$_P$/6061Al MMC with nickel plate as alloying filler metal

充材料对 SiC$_P$/6061Al MMC 进行激光焊接, 抑制了针状脆性相 Al_4C_3 的形成, 获得了以 Al_3Ni、NiAl 与 Al_3Ni_2 等新相为增强相的复合材料焊缝组织。这表明在焊缝中加入金属 Ni 片作为合金化填充材料对 SiC$_P$/6061Al MMC 进行焊缝"原位"合金化激光焊接, 可以部分抑制脆性相 Al_4C_3 的形成, 并获得以 Al_3Ni 等相为增强相的复合材料焊缝组织。图 2 为以 0.3mm 厚金属 Ni 片作为合金化填充材料的 SiC$_P$/6061Al MMC 试样激光焊接接头熔池显微组



(a), (b) OM and SEM micrographs showing microstructure in the central weld; (c) SEM micrograph showing microstructure near the bottom of the weld

图 2　加 0.3mm 厚金属 Ni 片作为合金化填充材料的 SiC$_P$/6061Al MMC 试样激光焊接焊缝熔池显微组织

Fig. 2　Weld microstructure of the laser beam welded SiC$_P$/6061Al MMC with nickel plate (0.3mm in thickness) as alloying filler metal

织。在焊缝熔池中部有大量暗灰色片状相及浅灰色多边形状相形成(见图 2(a)和 2(b))。该浅灰色多边形状相的化学成分能谱分析结果(原子分数, %)为: C 10.45, Al 54.79, Si 9.05, Ni 25.72, 结合该焊接接头的 X 射线衍射分析结果(见图 1), 可以断定该相为 Al_3Ni。在焊缝熔池中部还有少量黑色条状相存在, 该黑色条状相的化学成分能谱分析结果(原子分数, %)为: C 56.48, O 3.65, Al 30.84, Si 3.82, Ni 5.30。可见碳元素含量很高, 因此, 这些黑色条状相实际上是新析出的石墨相。为进一步确定石墨的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

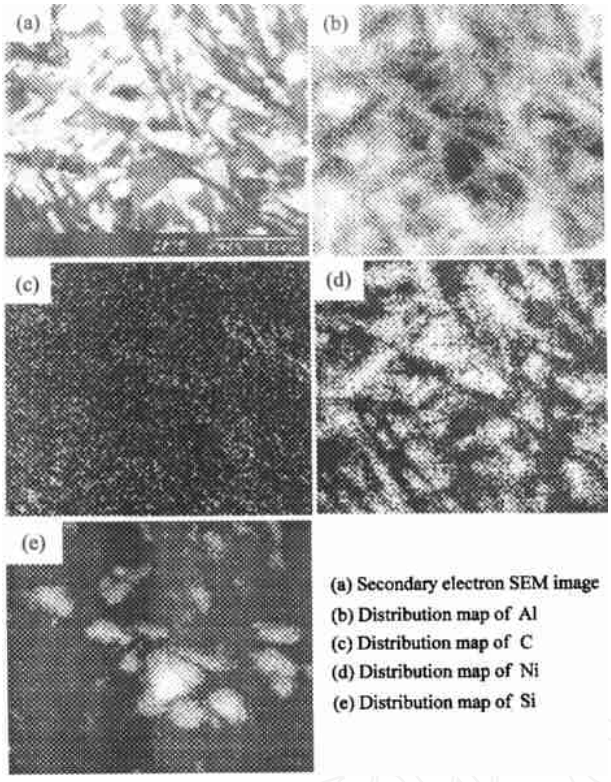


图3 以Ni片作为合金化填充材料的SiCp/6061AlMMC试样激光焊接焊缝熔池显微组织合金元素分布

Fig. 3 Element distribution of the microstructure in the laser beam welded SiCp/6061AlMMC with nickel plate as alloying filler metal

存在, 我们对该区域的组织做了元素面分布像(见图3)。由碳元素的面分布像可知, 焊缝熔池显微组织中的黑色条状相的C含量非常高, 由此可以确定该相确实为石墨。另外根据铝元素与镍元素的面分布像也可证实多边形状相与灰色片状相分别为Al_3Ni相和Al_4SiC_4相。由硅元素的面分布像可知, 伴随着Al_3Ni相还有单质Si相析出。这表明加入Ni元素有效地提高了C的活度, 促进石墨析出, 进而析出单质Si相。但加入Ni元素提高C活度并没有完全抑制增强相SiC颗粒的溶解及针状脆性相Al_4C_3的形成(见图2), 只是减弱了增强相SiC的溶解程度, 进而减少了脆性相Al_4C_3的形成数量(使得采用XRD方法未能测出焊缝中存在脆性相Al_4C_3)。这是因为析出的石墨在高能激光束作用下极易氧化变为气体逸出, 使得焊缝中C的含量大大下降, 进而未能完全抑制住增强相SiC颗粒的熔解及脆性相Al_4C_3的形成, 同时也导致焊缝中有粗大的气孔形成。在焊缝熔池底部有少量未熔的增强相SiC颗粒存在(见图2(c)), 这证明在激光焊接过程中加入Ni合金元素对焊接接头进行合金化, 确实可在一定程度上抑制增强相SiC颗粒的溶解及针状脆性相Al_4C_3的形成。

3 结 论

以金属Ni片作为合金化填充材料对SiCp/6061Al复合材料进行激光焊接, 可以在一定程度上抑制SiC的溶解及脆性相Al_4C_3的形成, 获得以Al_3Ni等相为增强相的焊缝显微组织。但因合金元素C的严重烧损, 在焊缝心部形成了粗大气孔。

参考文献:

[1] Ellis M B D. Joining of aluminum based metal matrix composites [J]. *Int Mat Rev*, 1996, 4(2): 41—58.

[2] Dahotre N B, McCay T D, McCay M H. Laser processing of a SiC/Al-alloy metal matrix composites[J]. *J Appl Phys*, 1989, 65(12): 5072—5077.

[3] Dahotre N B, McCay M K, McCay T D, Gopinathan S. Pulse laser processing of SiC/Al-alloy metal matrix composite[J]. *J Mater Res*, 1991, 6(3): 514—529.

[4] Lienert T J, Brandon E D, Lippold J C. Laser and electron beam welding SiCp reinforced aluminum A-356 metal matrix composite[J]. *Script Metall & Mater*, 1993, 28(11): 1341—1346.

[5] Midling O T, Grong Φ. Joining of particle reinforced Al-SiC MMCs[J]. *Key Eng Mater*, 1995, 104～107: 353—372.

[6] Chen Y L, Wang H M, Yu L G. Study of laser beam welding of SiCp/6061AlMMC [A]. In: Proc of International Symposia on Industrial Lasers [C]. New York, 1999. SPIE 3862: 443—447.

[7] 陈永来, 尚敏佳, 于利根, 王华明. SiCp/6061Al金属基复合材料激光焊接研究[J]. 应用激光, 1999, 19(5): 289—292.

[8] 陈永来, 于利根, 王华明. SiCp/6061Al金属基复合材料焊缝'原位'合金化激光焊接研究[J]. 中国激光, (2000年待发表).

[9] Chen Y L, Yu L G, Wang H M. Effect of 'in-situ' weld-alloying on microstructure of laser beam welded SiCp/6061Al metal matrix composite [A]. In: High Power Lasers in Manufacturing [C]. New York, 2000. SPIE 3888: 143—146.

[10] Shiota I, Watanabe O. High temperature compatibility of pyrolytic carbon with nickel-copper alloy [J]. *J Mater Sci*, 1979, 14(5): 1518—1521.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net