

Al/SiC 复合材料的准分子激光表面改性

梅胜敏¹ 余大民²

¹(南京航空航天大学机电工程学院, 南京, 210016)

²(香港理工大学制造工程系, 香港九龙)

SURFACE MODIFICATION OF Al/SiC METAL MATRIX COMPOSITE BY EXCIMER LASER

Mei Shengmin¹, Yu Damin²

¹Institute of Mechanical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

²(Department of Manufacturing Engineering, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, Kowloon)

摘要 利用 KrF 准分子激光对 SiC 晶须增强铝基复合材料进行表面改性。借助于显微镜及 X 射线衍射技术, 对激光处理前后试件表面的显微组织及化学结构进行了分析。结果表明, 准分子激光处理后, 试件表面形成了一个几微米厚的铝层。该薄层中基本上不含金属间化合物, SiC 增强相的数量也显著减少。腐蚀测试结果表明, 准分子激光表面处理后, 材料的抗腐蚀性能得到了显著提高。

关键词 表面改性 金属基复合材料 准分子激光

中图分类号 V257

Abstract The surfaces of 2009Al/SiC_w metal matrix composite specimens were irradiated with a powerful KrF excimer laser. After laser treatment, the morphology and the structure were examined with the aid of microscope and X ray diffraction techniques. It was found that an aluminium layer a few microns thick was formed on the surface of Al MMC. Little SiC reinforcement and larger intermetallics can be found in this layer. Corrosion measurements showed that the laser modified Al MMC exhibited a higher corrosion resistance.

Key words surface modification, metal matrix composite (MMC), excimer laser

SiC 增强铝基复合材料具有比强度高、比刚度、耐磨性好等突出优点, 被看作为在航空航天及汽车工业等领域中最有前途的新型结构材料之一。但由于 SiC 增强相的加入, 降低了铝合金材料组织的均一性, 因而无论 SiC 是以颗粒形式存在还是以晶须形式存在, 几乎所有的 SiC 增强铝基复合材料都存在着抗腐蚀性相对较低的固有缺点^[1-3]。而对许多重要的飞机结构部件, 抗腐蚀性的高低是决定其使用性能和寿命的关键因素之一。采用先进的表面改性技术对 SiC 增强铝基复合材料进行表面处理是提高其抗腐蚀能力的有效手段。国内外近年来采用表面阳极化、表面镀镍、激光表面涂覆、离子束沉积等表面技术, 但这些技术不同程度地存在着涂层与基体结合强度低, 涂层易于剥落等缺点^[4,5]。因此, 有必要寻求提高 SiC 增强铝基复合材料抗腐蚀性的表面改性新技术。本文利用 KrF 高脉冲功率准分子激光, 对一种 SiC 晶须增强铝基复合材料表面进行一次性快速重熔处理, 试图改变材料表面层的显微组织和

化学结构, 从而提高材料的抗腐蚀性能。

1 材料与实验方法

实验用材料为 2.5 mm 厚的 SiC 晶须增强铝基复合材料。该材料用粉末冶金方法制成, 经轧制后以板材形式提供。SiC 晶须含量为 15% (体积比), 基体材料为 2009 铝合金。晶须直径在 0.5 ~ 1.0 μm 之间, 长度 5 ~ 20 μm 不等。材料表面的显微组织如图 1 所示。由于材料的表面状态关系到

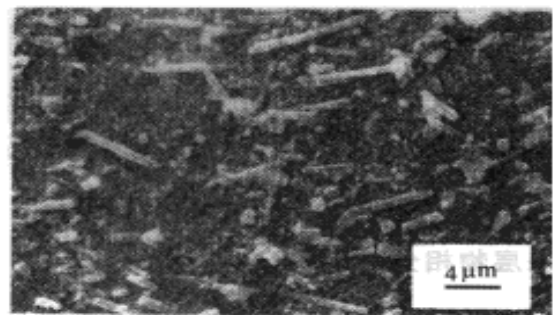


图 1 2009 Al/SiC_w 金属基复合材料的显微组织
激光的反射和吸收, 所有试件在使用前均经 1Lm 的金刚石研磨膏最终抛光, 并经蒸馏水和酒精清

洗,以确保试件表面初始状态的一致性。

用于 Al/SiC 复合材料表面改性的激光是波长为 248nm 的 KrF 准分子激光,脉冲宽度 25ns,脉冲重复频率固定为每秒 80 个脉冲。激光束聚焦到试件表面时形成直径为 1.1mm 光强均匀的圆束斑,其能量密度实测为 3.3 J/cm^2 。激光束斑以 1.0 mm/s 的速度扫描试件表面,形成宽度为 1.1mm 扫描带。相邻扫描带之间保持 25% 的搭接区域。

激光表面处理前后,分别用光学及扫描电镜分析试件表面微观形貌。用小角度 X 射线衍射(XRD)方法进行表层物相鉴定。利用 EG&G 公司的 M352 腐蚀分析系统在重量比为 3.5% 的 NaCl 溶液中进行腐蚀实验,记录试件在激光表面处理前后的阳极极化曲线。极化电位扫描速度为 0.33 mV/s ,参考电极为标准甘汞电极。

2 实验结果与讨论

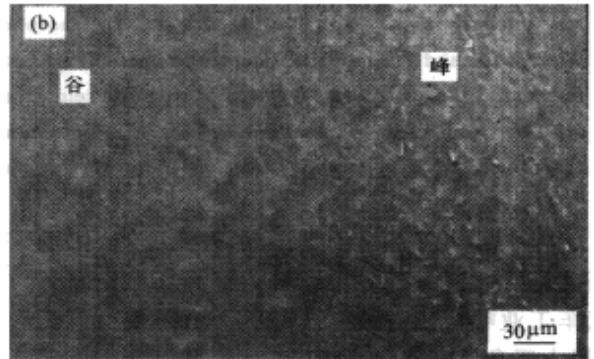
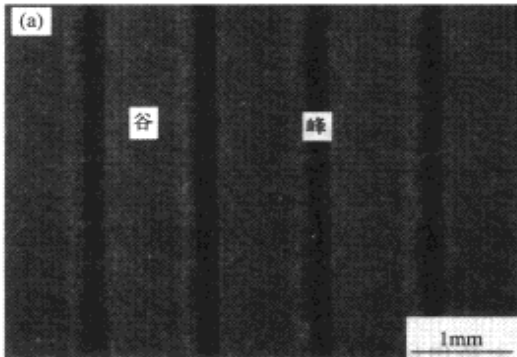


图2 试件表面经激光处理后的微观形貌

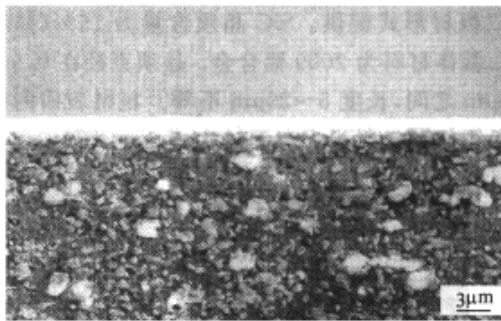


图3 激光处理后试件的横断面

2.2 表层物相分析

准分子激光表面处理前后,试件表层材料的 X 射线衍射图谱分别如图 4 所示。从图 4(a)中可以确定,试件材料在激光处理前存在 Al, SiC 及 CuAl_2 3 种物相。而在处理后的图 4(b)中仅发现 Al 和 SiC 的衍射峰,即试件表层仅存在 Al 及 SiC

2.1 表面形貌分析

图 2 所示为试件表面经激光处理后的微观形貌。从图 2(a)可见,准分子激光束斑的依次扫描在试件表面形成了亮暗相间的条纹。较亮的区域对应束斑中心扫过的区域,该区域吸收了较多的激光能量。在体视显微镜下可见该区域稍微下凹,形成了“谷”。暗色区域,即相邻扫描带的搭接区域,吸收的能量较少,在试件表面形成了相对的“峰”。试件表面还可见到微小波纹,这种波纹由试件表层重熔后快速凝固所造成。从图 2(b)的扫描电镜照片可见,“谷”区域内基本上已看不到 SiC 晶须,而“峰”区域仍可见部分被掩埋的 SiC 晶须。在图 3 所示的试件横断面扫描电镜照片中,可见到试件经激光表面处理后形成了一层均匀的厚度约为 2 Lm 的白亮层。

2 种物相。 CuAl_2 的衍射峰全部消失,表明其晶体结构经激光处理后不复存在。SiC 位于 $2\theta=42.795^\circ; 60.100^\circ$ 处的 2 个衍射峰也不再出现,表明有 2 个晶面方向的 SiC 也被分解。以上结果表明 Al/SiC 复合材料在准分子激光表面处理过程中,表面经过了重熔和再结晶。比较图 4(a)与图 4(b)中 Al 衍射峰的峰位可发现,图 4(b)中 Al 的衍射峰偏离了标准 Al 峰的位置,而稍向右方移动。造成这一移动的原因可能是由于 Al 在再结晶时混杂了由 SiC 分解而产生的 Si 原子,使得 Al 晶体中的部分 Al 原子被 Si 原子所替代。由于 Si 原子的原子半径较 Al 原子的小,因而造成 Al 晶体的晶格常数发生畸变(变小),使晶体结构的衍射角增大,即导致衍射峰的峰位右移。

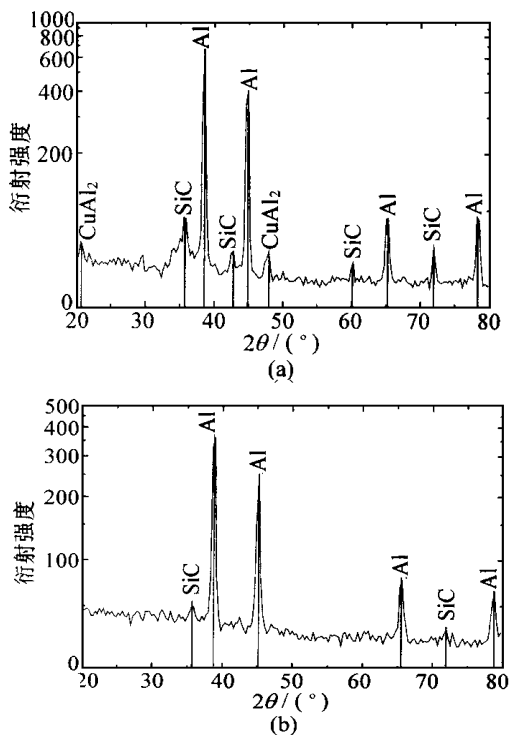


图 4 试件在激光表面处理前后的 X 射线衍射图谱
(a)处理前; (b)处理后

2.3 极化曲线及腐蚀性能

图 5 所示为激光处理前后试件的阳极极化曲线。从图 5 可见, 处理后的曲线处于未处理的曲线的左上方。这说明经过激光处理后的腐蚀试件具有较高腐蚀电位(E_{corr})和较小的腐蚀电流(I_{corr})。另外, 从极化曲线上可以看出, 未经激光处理的 SiC 增强铝基复合材料腐蚀时没有明显的钝化效应。而经过激光处理后的试件腐蚀时具有明显的钝化效应, 从而使点蚀发生时的电位 E_{pit} 与激光处理前相比提高了大约 170mV。结果表明, 利用准分子激光对 SiC 晶须增强铝基复合材料进行表面改性, 可以有效地提高材料的抗腐蚀性能。

对经激光处理的试件腐蚀后的微观形貌研究发现, 腐蚀多发生在 SiC 晶须残留较多的搭接区域。由此可见, SiC 增强相的存在是加速 Al/SiC 金属基复合材料腐蚀的重要因素之一。利用准分子激光对 SiC 晶须增强铝基复合材料进行表面改性, 提高复合材料抗腐蚀性能的作用机理在于准分子激光对 SiC 增强铝基复合材料试件表面的辐射, 可以导致某些金属间化合物(如 $CuAl_2$)和部

分 SiC 晶须的分解, 减少在复合材料组织中形成原电池而加速材料腐蚀的机会。同时, 在材料表面

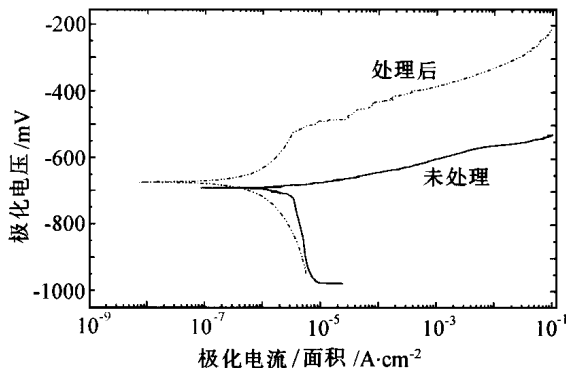


图 5 试件在激光表面处理前后的阳极极化曲线

形成一个以铝为主要成分的薄层, 借助于铝在氧化时表现出来的优良的钝化效应, 从而提高 SiC 晶须增强铝基复合材料的抗腐蚀性能。

参 考 文 献

- 1 Turnbull A. Review of corrosion studies on aluminium metal matrix composites. British Corrosion Journal, 1992, 27(1): 27 ~ 35
- 2 Hihara L H, Latanision R M. Corrosion of metal matrix composites. International Materials Reviews, 1994, 39(6): 245 ~ 264
- 3 Greene H J, Mansfeld F. Corrosion protection of aluminium metal matrix composites. Corrosion, 1997, 53(12): 920 ~ 927
- 4 Rao G M, Molian P A. Enhancement of wear and corrosion resistance of metal matrix composites by laser coatings. Journal of Material Science, 1994, 29: 3274 ~ 3280
- 5 Lin S, Greene H, Shih H, et al. Corrosion protection of Al/SiC metal matrix composites by anodizing. Corrosion, 1992, 48(1): 61 ~ 67
- 6 Angelos. Koutsomichalis and Anastasia Kefalidou. Excimer laser interactions with aluminium alloy. Journal of Laser Applications, 1996, 8(5): 247 ~ 250



梅胜敏 1965 年 5 月生, 副教授, 研究方向: 机械制造、激光加工、专家系统。电话: 025-4891213(h), 025-4892505(O), Email: nh505me@nuaa.edu.cn

余大民 1957 年生, 副教授, 研究方向: 材料科学与工程、激光加工。