

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0012-04

ZL102 合金表面激光熔覆 Al-Si + Al₂O₃ 复合涂层的组织和磨损性能

孙荣禄, 牛 伟, 刘录录

(天津工业大学机械电子学院, 天津 300160)

摘要 采用 5 kW 横流 CO₂ 激光器, 在 ZL102 合金表面熔覆 Al₂O₃ 颗粒增强的 Al-Si 合金复合涂层, 探索了激光熔覆工艺参数对涂层质量的影响, 分析了涂层的微观组织, 测试了涂层的硬度和磨损性能。结果表明, 在优化工艺参数下可以获得连续均匀、无气孔和裂纹的涂层, 涂层的组织是在 α 固溶体和 α 固溶体 + Si 共晶的基体上均匀地分布着 Al₂O₃ 颗粒, Al₂O₃ 颗粒尺寸在 10~20 μm 之间, 与涂层基体结合紧密。涂层与基材之间呈典型的外延生长界面, 形成了良好的冶金结合。涂层的硬度在 Hv190~260 之间, 比基材提高了约 2 倍, 涂层的耐磨性能比基材提高了约 4 倍。

关键词 激光技术; 铝合金; 激光熔覆; 复合涂层; 微观组织; 磨损性能

中图分类号 TG156.99 **文献标识码** A

Microstructure and Wear Resistance of Al-Si + Al₂O₃ Composite Layer on ZL102 Alloy by Laser Cladding

SUN Rong-lu, NIU Wei, LIU Lu-lu

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China)

Abstract Laser cladding of Al-Si + Al₂O₃ composite layer on ZL102 alloy was performed by 5 kW CO₂ laser. The effect of the laser cladding parameters to layer was investigated. The analysis on the microstructure, the hardness and wear resistance of laser cladding layer shows that, the Al-Si + Al₂O₃ layer is uniform, continuous and free of pores and cracks by optimized parameters. Al₂O₃ particles disperse in the matrix of α -Al and α -Al + Si eutectics with particle size of 10~20 μm . The interface between the layer and the substructure was epitaxial, with excellent bonding by the strong metallurgical interface. The hardness and wear resistance of laser cladding layer is about 2 times (in the range of Hv 190~260) and 4 times higher than that of the substrate, respectively.

Key words laser technique; aluminium alloy; laser cladding; compositing coating; microstructure; wear resistance

1 引 言

铝合金具有比强度高、耐蚀性能好等优点, 是航空、航天、汽车和化工等工业部门中广泛使用的结构材料。但是, 铝合金的硬度低、耐磨性能差, 在一定程度上限制了它的应用范围。表面强化是提高铝合金耐磨性能的有效方法, 传统的铝合金表面强化方法主要包括阳极氧化、铬酸盐化学氧化、物理气相沉积、化学气相沉积和电镀等。但这些方法获得的强化层薄, 且强化层基体之间结合强度低, 容易剥落。

近年来, 随着大功率激光器的开发和工业应用, 铝合金激光表面强化技术得到了发展^[1~8], 如

Almeida A. 等^[4]的研究表明, 不同铬含量的激光合金化层可使纯铝的硬度由 Hv50 提高到 Hv155, 7175 铝合金的硬度由 Hv155 提高到 Hv300, 这种硬度改变来自于激光合金化处理过程中形成的金属间化合物的致密网状结构。周龙早等^[6]采用 CO₂ 激光器对 ZL108 合金进行 Ni-Cr 表面合金化处理, 合金化层的硬度可达 Hv230, 比基材提高约 3 倍, 耐磨性能比基材提高约 2 倍。张松等^[7]以 Ti 和 SiC 混合粉末为原料, 采用 2 kW 连续 Nd:YAG 固体激光器在 6061 铝合金表面熔覆 TiC 颗粒增强的 Al-Ti 复合涂层, 熔覆层的硬度可达 Hv650。蔡珣等^[8]在铸造铝硅合金表面

基金项目: 天津市自然科学基金(043603211)资助课题。

作者简介: 孙荣禄(1964—), 男, 湖北唐山人, 博士, 教授, 主要从事材料激光表面强化技术方面的研究。

E-mail: rlsun@tjpu.edu.cn

激光熔覆 Cr/WC 梯度涂层的硬度由表及里呈连续变化,具有良好的抗黏着磨损性能。

本文采用激光熔覆技术,以 Al-Si 合金和 Al₂O₃ 的混合粉末为原料,在 ZL102 合金表面制备 Al₂O₃ 颗粒增强的 Al 基复合材料涂层。

2 实验方法

基底材料采用 ZL102 合金,试样尺寸为 40 mm×30 mm×20 mm。熔覆材料采用 Al-Si 合金和 Al₂O₃ 的机械混合粉末(Al-Si 合金与 Al₂O₃ 粉末的体积比为 3:1),其中 Al-Si 合金的 Al, Si(质量分数)分别为:88%,12%。采用粘结法将熔覆材料预置在基底试样表面,预置厚度为 1 mm。激光熔覆实验采用 5 kW 横流 CO₂ 激光器,激光熔覆工艺参数为:激光功率 $P = 1.5 \sim 3$ kW,扫描速度 $V = 2$ mm/s,激光束斑直径 $D = 3$ mm。激光熔覆时采用氩气对熔池进行保护。

利用 Hitachi S-570 型扫描电镜(SEM)分析激光熔覆层的微观组织,利用 HXD-1000T 型显微硬度计测量激光熔覆层的硬度,利用销-盘式摩擦磨损试验机测试激光熔覆层的磨损性能。

3 实验结果

3.1 激光功率对熔覆层质量的影响

在激光束斑直径 $D = 3$ mm,扫描速度 $V = 2$ mm/s 的条件下探索了激光功率对熔覆层质量的影响。结果表明,当激光功率低于 2 kW 时,熔覆层表面粗糙、厚度不均匀,甚至不能形成连续涂层。随激光功率的增加熔覆层表面粗糙度降低,均匀性增加,当激光功率增至 2.5 kW 时,熔覆层连续均匀,表面平整光滑,激光功率继续增加,基材的熔化量增大,出现塌陷现象。图 1 和图 2 分别为激光功率 $P = 2.5$ kW 时单道激光熔覆层的横截面形貌和多道

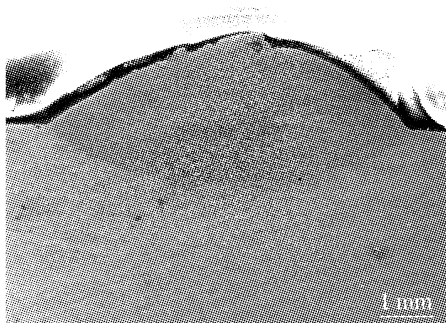


图 1 单道激光熔覆层横截面形貌

Fig. 1 Cross-section morphology of single track laser clad layer

搭接熔覆层表面形貌照片。从图 1 可见,单道激光熔覆层横截面呈近似椭圆状,基体表层发生了熔化,与熔覆材料熔合在一起,熔覆层内部无气孔和裂纹等缺陷。从图 2 可见,熔覆层连续均匀,表面平整。

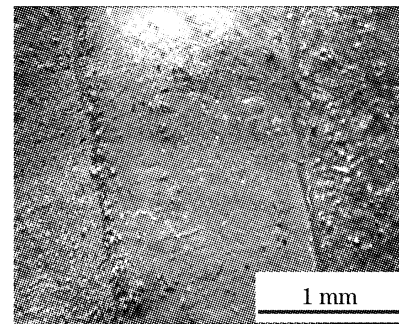


图 2 多道搭接激光熔覆层表面形貌

Fig. 2 Surface morphology of multi-overlapped laser clad layer

3.2 激光熔覆层的微观组织

图 3 为激光熔覆层组织 SEM 照片。激光熔覆层组织由白色的树枝晶、黑色共晶和 Al₂O₃ 颗粒组成,Al₂O₃ 颗粒尺寸在 10~20 μm 之间,在涂层中分布均匀,与涂层基体结合紧密,界面上无孔洞和缝隙等缺陷存在。根据 Al-Si 二元相图分析认为,白色树枝晶为 Si 溶于 Al 中形成的 α 固溶体,共晶由 α 固溶体和 Si 组成。

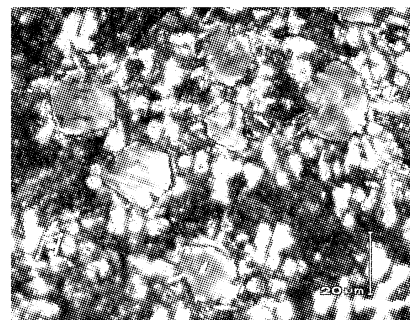


图 3 激光熔覆层组织

Fig. 3 Microstructure of the laser clad layer

图 4 为激光熔覆层与基材交界处组织 SEM 照片。熔覆层从基材表面外延生长,且呈现明显的定

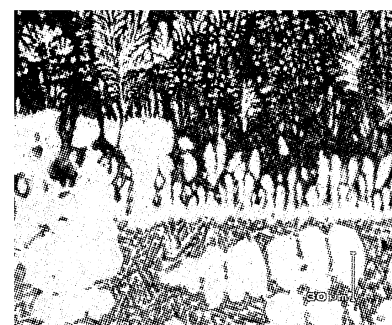


图 4 激光熔覆层与基材结合区组织

Fig. 4 Microstructure of the bonding zone

向生长特征,这表明熔覆层与基材之间形成了良好的冶金结合。

3.3 激光熔覆层的硬度和磨损性能

图 5 为激光熔覆层显微硬度沿层深方向分布曲线。激光熔覆层的硬度在 Hv190~260 之间,比基材 ZL102 合金提高了约 2 倍。

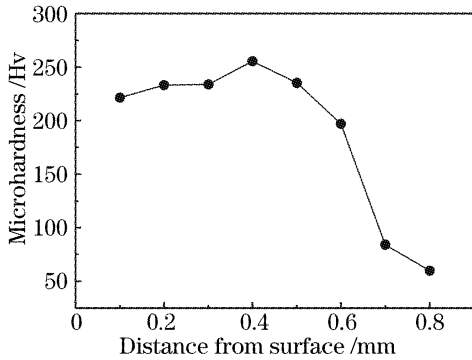


图 5 激光熔覆层显微硬度沿层深方向分布曲线

Fig. 5 Distribution profile of microhardness across clad layer

将多道搭接的激光熔覆试样用线切割机切成 $\phi 9 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 的圆柱,与 GCr15 钢组成摩擦副进行磨损实验。摩擦工作参数为:法向载荷 10 N,滑动速度 0.8 m/s,滑动距离为 300 m。磨损实验结果如图 6 所示,为了比较同时给出了 Al-Si 合金激光熔覆层和基材 ZL102 合金的磨损实验结果。可见,Al-Si 合金激光熔覆层的磨损失重量约为 ZL102 合金的 2/3,Al-Si+Al₂O₃ 激光熔覆层的磨损失重量约为 ZL102 合金的 1/5。

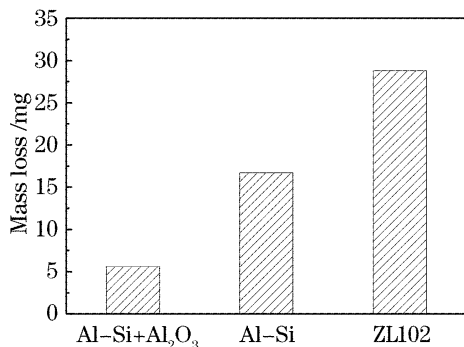


图 6 Al-Si+Al₂O₃, Al-Si 熔覆层和 ZL102 合金磨损失重量

Fig. 6 Comparison of the wear loss of weight for Al-Si+Al₂O₃, Al-Si laser clad layers and ZL102 alloy

上述实验结果表明,激光熔覆 Al₂O₃ 颗粒增强的 Al-Si 合金涂层明显地提高了 ZL102 合金的表面硬度和耐磨性能,这是由于激光熔覆层中存在颗粒强化和细晶强化。颗粒强化:激光熔覆层中存在大量的 Al₂O₃ 硬质陶瓷颗粒,在磨损过程中当涂层基体磨损后,这些颗粒将暴露在磨损表面,暴露在磨损

表面的 Al₂O₃ 硬质陶瓷颗粒一方面起到了支撑作用,另一方面起到了对涂层基体的保护作用,降低了涂层基体的磨损。细晶强化:图 7 和图 8 为相同倍率下激光熔覆层组织和基材 ZL102 的组织照片。比较二者可以看出,激光熔覆层中 α 固溶体呈近等轴晶形态,尺寸在几微米到几十微米之间,而基材 ZL102 合金中 α 固溶体呈树枝晶形态,尺寸在几百微米以上。由此可见,激光熔覆层中基体晶粒的尺寸比基材 ZL102 合金降低了约 1 个数量级,从而产生细晶强化作用,大大提高涂层基体强韧性。

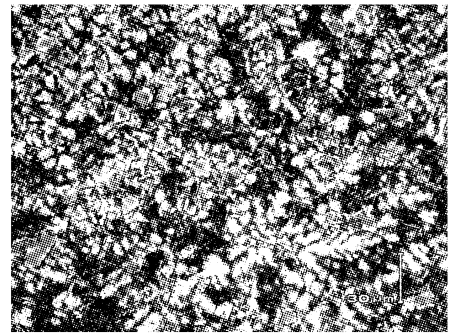


图 7 激光熔覆层组织

Fig. 7 Microstructure of the laser clad layer



图 8 ZL102 合金的组织

Fig. 8 Microstructure of the ZL102 alloy

4 结 论

1) 以 Al-Si 合金和 Al₂O₃ 的机械混合粉末为原料,通过激光熔覆工艺参数的优化,在 ZL102 合金表面获得了连续均匀、无气孔和裂纹的 Al-Si+Al₂O₃ 复合涂层。

2) Al-Si+Al₂O₃ 复合涂层的组织是在 α 固溶体和 α 固溶体+Si 共晶的基体上均匀地分布着 Al₂O₃ 颗粒,Al₂O₃ 颗粒尺寸在 10~20 μm 之间,与涂层基体合金结合紧密。涂层与基材之间呈典型的外延生长界面,形成了良好的冶金结合。

3) Al-Si+Al₂O₃ 复合涂层的硬度在 Hv190~260 之间,比基底提高了约 2 倍,耐磨性能比基材提高了约 4 倍。

参 考 文 献

- 1 Wong T T, Liang G Y. The surface character and substructure of aluminum alloys by laser melting treatment [J]. *J. Mater. Proc. Technol.*, 1997, **66**(11): 172~178
 - 2 Li R, Ferreria M G S, Almeida A *et al.*. Localized corrosion of laser surface melted 2024-T351 aluminum alloy [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 1996, **81**(2): 290~296
 - 3 Gaffet E, Pelletier J M, Bonnet S-Jobez. Laser surface alloying of Ni film on Al-based alloy [J]. *Acta Metallurgica*, 1989, **37**: 3205~3215
 - 4 Almeida A, Anjos M, Vilar R *et al.*. Laser alloying of aluminium alloys with chromium [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 1995, **70**(2~3): 221~229
 - 5 Lalitha R K, Arvind A, Narendre B D. Laser surface engineered TiC coating on 6061 Al alloy: microstructure and wear [J]. *Applied Surface Science*, 2000, **153**: 65~78
 - 6 Zhou Longzao, Liu Shunhang, Huang Anguo *et al.*. Laser surface alloying of cast aluminium alloy with Ni and Cr [J]. *Laser Thechnology*, 2004, **24**(6): 565~568
 - 7 Zhang Song, Kang Yuping, Wang Maocai *et al.*. An in-situ formed TiC particle reinforcement composite coating induced by laser cladding on aluminium alloy [J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2001, **30**(6): 422~427
 - 8 Cai Xun, Zhao Tao, Chen Qiulong *et al.*. Metal-ceramic surface gradient layer produced by laser cladding on Al-Si alloy [J]. *Materials for Mechanical Engineering*, 2002, **26**(1): 25~28
- 周龙早,刘顺洪,黄安国等. 铸造铝合金激光表面合金化的研究 [J]. *激光技术*, 2004, **24**(6): 565~568
- 张松,康煜平,王茂才等. 铝合金表面激光熔覆原为自生 TiC 增强金属基复合材料涂层 [J]. *稀有金属材料与工程*, 2001, **30**(6): 422~427
- 蔡珣,赵涛,陈秋龙等. 铸造铝合金激光表面改性金属-陶瓷梯度层 [J]. *机械工程材料*, 2002, **26**(1): 25~28