

铝合金激光熔覆 Ni-WC 涂层的组织 及耐磨性*

梁工英 贺柏龄 苏俊义 郑启光 王 涛 辜建辉

(西安交通大学机械学院 西安 710049) (华中理工大学激光技术国家重点实验室 武汉 430074)

提要 采用 5 kW CO₂ 激光器,对 ZA111 合金表面的 Ni-WC 等离子涂层进行了熔覆处理。利用 SEM 和 X 射线衍射分析了激光层中的组织分布,并对激光处理后的试样进行了耐磨性实验。实验结果表明,激光熔层中的组织以镍铝基的金属间化合物 Al₃Ni, Al₃Ni₂, AlNi 和 Ni₃Al 为主;WC 颗粒基本在熔区中熔化,在冷却过程中以弥散碳化物形式析出。这些组织的存在使得激光熔层具有很高的硬度,其润滑磨损耐磨性为未经激光处理喷涂层的 1.75 倍和 Al-Si 合金基体的 2.83 倍。

关键词 Al-Si 合金,激光表面处理,显微组织,耐磨性

1 引 言

激光处理可以有效地提高材料表面的耐磨性、耐蚀性和耐热性^[1~3]。与其它表面处理方法相比,激光处理有一些独特的优点,例如非常细的显微组织和较好的熔化结合。

铝合金是世界上用量最大的有色金属材料。它广泛地用于航空、航天和动力机械中。由于铝合金的硬度很低,因此其耐磨性能很差,激光处理是改善铝合金表面性能的有效手段。最近几年,利用高能量激光器在铝合金表面进行熔覆处理以提高其耐磨性、耐蚀性和耐热性已有许多报道^[4~6]。

Ni-WC 是钢铁材料中常用的喷涂合金,它有较强的硬度和机械性能。虽然 Ni 可以和 Al 很好地化合,但是粉末中大量的 WC 陶瓷具有较高的熔点,很难和铝合金熔化在一起。而激光处理则是使这两种熔点相差很大的材料熔合的理想手段。本文利用高能量的 CO₂ 激光器,对 Al-Si 合金表面的 Ni-WC 涂层进行了熔覆处理,分析了涂层中的组织,并对其耐磨性进行试验。

2 试验方法

基底材料采用 ZL111 合金,其化学成份(质量分数%)为 Si8.23, Mg0.056, Cu1.35, Ti0.057, Mn0.5, 余为 Al。试样浇注后加工成为 50 mm×35 mm×10 mm 的矩形板。试样经质量分数 10% NaOH 溶液热腐蚀及喷沙处理后,由 METCO 4HC 型等离子热喷涂装置在试

* 华中理工大学激光技术国家重点实验室基金项目。

样表面进行喷涂处理。喷涂合金为商业镍包 WC 自熔合金粉末。其成份(wt-%) Cr10.5, B1.2, Si1.5, Fe10, C< 1.0, WC20, 余为 Ni。粉末粒度为 0.05~ 0.10 mm。喷涂层厚度为 0.4~ 0.5 mm。

激光处理采用 5 kW CO₂ 横流激光器。采用激光单道扫描, 光斑直径为 2.5 mm, 激光功率密度为 65.2 kW/cm², 激光扫描速度为 10 mm/s。激光处理时, 试样表面由 Ar 气保护。激光熔化处理后, 熔覆层厚度为 0.5 mm。

沿激光扫描的垂直方向切取横截面制取金相面。由 S-2700 型扫描电子显微镜进行熔覆层显微组织形貌观察, 显微成份分析采用扫描电子显微镜所附 X 射线能谱仪(EDAX)测定。显微硬度测量采用 HX-1000 显微硬度计, 载荷为 0.5 N, 加载时间为 15 s。

磨损试验采用改造的销盘磨损试验机。上试样为激光处理试样, 尺寸为 5 mm×5 mm×10 mm 的矩形条, 磨损面为 5 mm×5 mm 的激光熔覆面, 磨损面经 04# 金相砂纸磨平。下试样为 HT200 灰铸铁(硬度为 HB184)。各试样在试验前均进行跑合平整, 试验时, 下试样的转速为 60 r/min, 润滑介质为 20# 机械油, 载荷为 150 g/mm², 磨程为 176 m。

3 实验结果及讨论

3.1 显微组织

图 1 为激光熔区表面经 04# 金相砂纸磨平后的 X 射线衍射谱。从这张图中可以看出, 激光熔区中的组织是以固溶体 Al 和 Al-Ni 系金属间化合物 Al₃Ni, Al₃Ni₂, AlNi 和 Ni₃Al 为主, 同时还存在一些 WC 和 Cr₂₃C₆, (FeNi)₂₃C₆, Fe₂₃(CB)₆ 等 M₂₃C₆ 型碳(硼)化合物。

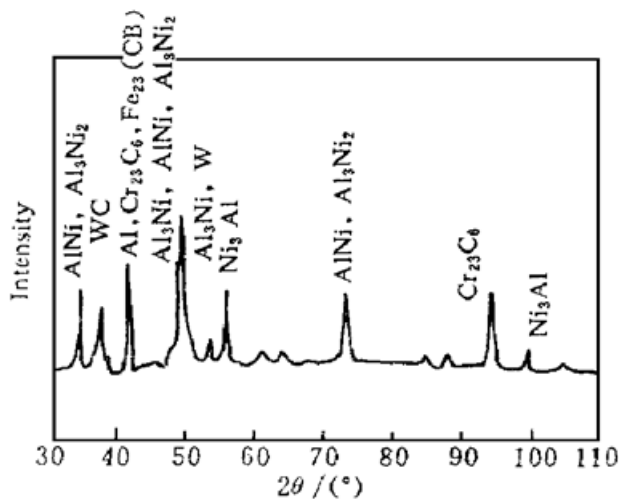


图 1 激光熔区中的 X 射线衍射谱

Fig. 1 X-ray diffraction pattern in the laser melted zone

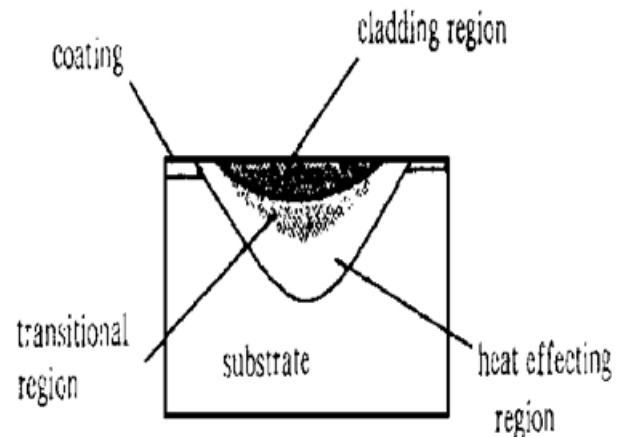


图 2 激光熔覆 Ni-WC 横截面示意图

Fig. 2 A sketch of the cross-section of the laser melted zone

图 2 是一张铝合金激光熔覆 Ni-WC 横截面示意图。与激光熔覆钢铁材料一样, 在激光熔化区中也存在熔覆区、过渡区和热影响区。但是, 激光熔覆铝合金的热影响区是重熔的 Al-Si 合金基底。

在激光熔区外表层存在一层极薄的等轴晶组织(约 60~ 80 μm), 其 SEM 照片见图 3 所示。图 4 为熔覆层中的一张 SEM 照片, 可以发现有两种析出相, 即较大的块状(A) 和较小的

细颗粒(B)。图 5 是为激光熔区内部的另一张 SEM 照片,这是一张小杆状的结晶相的区域照片。图 6 为接近过渡区的一张 SEM 照片,可看到许多针状相出现在这个区域。各图中的结晶相和它周围区间的化学成份见表 1。

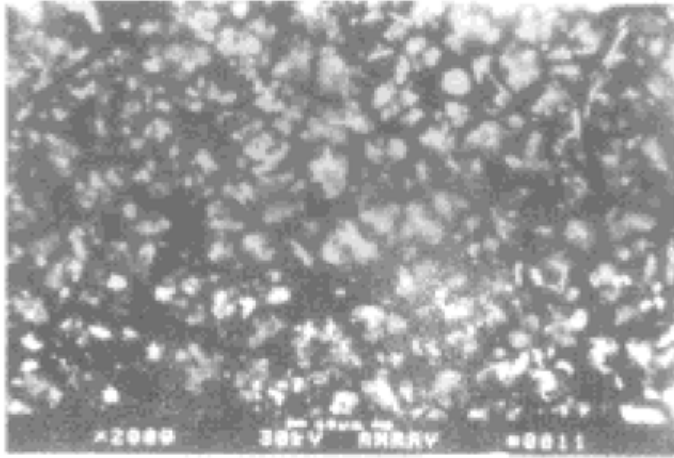


图 3 激光熔区表层的 SEM 照片

Fig. 3 A SEM photo in the surface of the laser melted zone

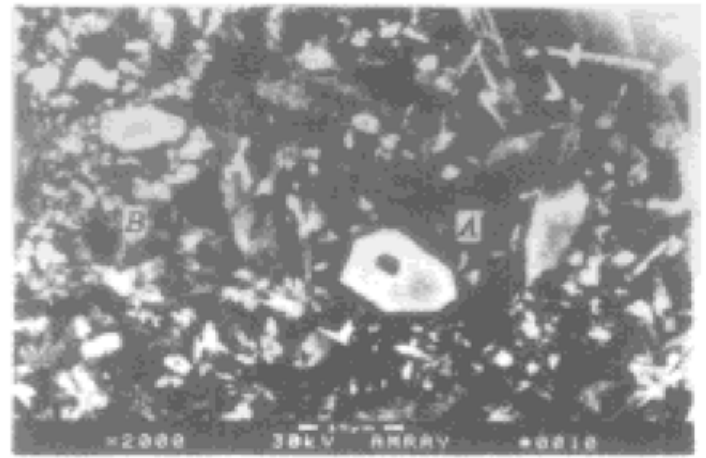


图 4 激光熔区析出物的 SEM 照片

Fig. 4 A SEM photo containing precipitated phases in the laser melted zone

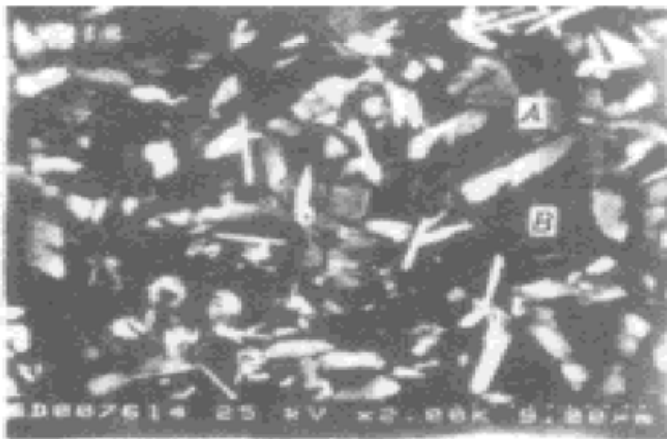


图 5 激光熔区中的 SEM 照片

Fig. 5 A SEM in the laser melted zone

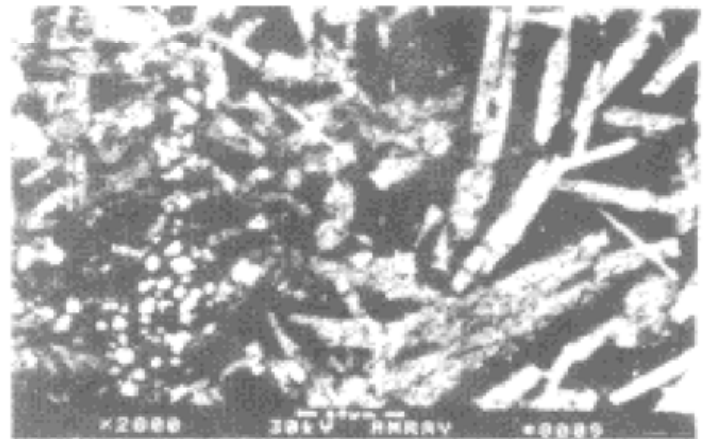


图 6 激光熔区近过渡区的 SEM 照片

Fig. 6 A SEM near transition layer in the laser melted zone

表 1 各相的化学成份(at-%)

Table 1 Chemical composition of the different phases (at-%)

position	structure morphology	Al	Cr	Fe	Si	W	Ni
surface	granular (Fig. 3)	24.22	3.47	11.17	0.45	3.60	57.09
region	granular space (Fig. 3)	79.10	3.15	3.51	6.15	0.72	7.37
cladding	lump-like (Fig. 4, A)	10.90	58.25	10.11	2.72	2.10	15.92
region	granular (Fig. 4, B)	9.42	53.71	2.87	1.48	14.56	17.96
cladding	rod-like (Fig. 5, A)	24.09	1.55	3.48	4.12	3.57	63.19
region	rod-like space (Fig. 5, B)	35.33	11.40	8.87	8.14	3.62	32.64
transitional	needle-like (Fig. 6)	47.95	1.08	9.33	6.70	2.16	32.78
region							

考虑到 Fe, Cr, W 等元素的作用, 结合 Al-Ni 二元相图^[7], 从表中可以看出, 图 3 中的白色颗粒的成份接近 Ni_3Al 相, 但是, 其晶间 Al 含量却十分高。这种现象的存在是由于在凝固过程中, 在热影响区内的 Al 液的凝固要比熔覆层高 Ni 相的凝固晚得多, 在很大的比重差异下, 部分 Al 液上浮至表面, 形成一些富 Al 的化合物组织。从表中还可以发现, 由于熔区的温度较高, 大量的 WC 已熔化, 形成图 4 中 $M_{23}C_6$ 型 ($M = Cr, Fe, W$) 的碳化物(块状析出物)和 $(Cr, W)_2C$ 型碳化物(细粒状的析出物)。图 5 中的细杆状相为 Ni_3Al 结构, 而在其周围则应是 NiAl 基化合物组织。在过渡区, Al 的含量已经较高, 图 6 中针状相的 Al 和 Ni 原子含量比很接近 3:2, 因此可以判断针状相应为 Al_3Ni_2 结构。

3.2 磨损试验

图 7 为激光熔化层中的硬度分布。A 区为表层等轴晶区, B 区为熔覆区, C 区为激光合金层和铝基底的过渡区, E 区为熔化的铝基底区。从图中可以看出, 虽然在表层中的铝含量较高, 但是, 仍具有很高的硬度 ($HV > 400$)。而在激光熔区内部, 由于晶粒十分细化, 且存在大量的金属间化合物和弥散的碳化物, 使得激光熔覆层的硬度很高, 最高的硬度高达 HV 1027。

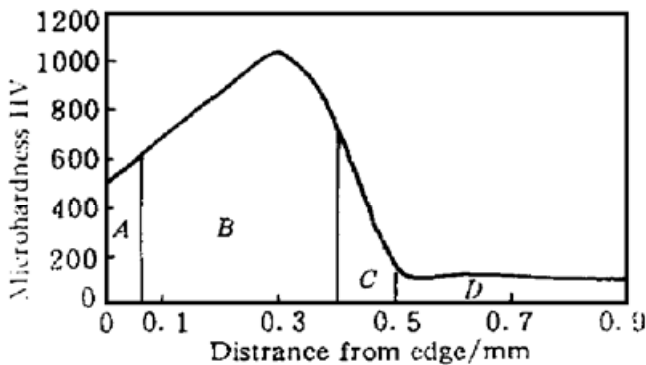


图 7 激光熔层中的硬度分布

Fig. 7 A distribution of microhardness in the laser melted zone

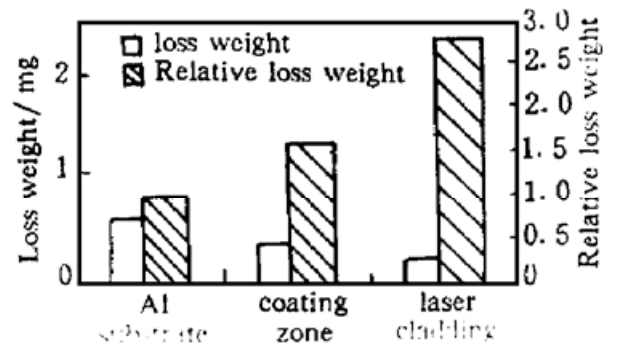


图 8 不同试样的耐磨性

Fig. 8 The wear resistance of different samples

图 8 为激光熔化处理试样、等离子喷涂试样和铝合金试样的磨损量和相对耐磨性。其中, 相对耐磨性为铝合金的磨损失重量和其它试样的磨损失重量的比值。可以看出, 激光处理试样的磨损失重量最小, 其耐磨性为铝合金的 2.83 倍, 同时也为等离子喷涂试样的 1.75 倍。

4 结 论

1) 激光熔覆 Ni-WC 涂层的组织主要以 Al_3Ni , Al_3Ni_2 , $AlNi$ 和 Ni_3Al 镍铝基金属间化合物为主, 大量的 WC 颗粒在激光熔区中熔化, 并以 $M_{23}C_6$ 型和 MC 型碳化物形式析出。

2) 激光熔覆处理的组织具有较高的硬度和较好的耐磨性, 其耐磨性为铝合金基底的 2.83 倍和等离子喷涂试样的 1.75 倍。

参 考 文 献

- 1 Boas M., Bamberger M., Revez G.. Laser-alloying of a plasma-sprayed WC/Co layer to enhance wear properties. *Surface and Coatings Technology*, 1990, **42**: 175~ 186
- 2 Pujar M. G., Dayal R. K., Singh R. K.. Microstructural and aqueous corrosion aspects of laser-surface-melted type 304ss plasma-coated mild steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*,

- 1994, **3**: 412~ 418
- 3 Damborenea J. D., Lopezand V., Vazquez A. J.. Improving high temperature oxidation of incoloy 800H by laser cladding. *Surface and Coatings Technology*, 1994, **70**: 107~ 114
 - 4 Huang C. C., Tsai W. T., Lee J. T.. Microstructure and electrochemical behavior of laser clad Fe-Cr-Mo-Si-N surface alloys on carbon steel. *Materials Science and Engineering A*, 1995, **196**: 243~ 248
 - 5 Tomlinson W. J., Bransden A. S.. Cavitation erosion of laser surface alloyed coatings on Al-12% Si. *Wear*, 1995, **185**: 59~ 65
 - 6 Almeida A., Anjos M., Vilar R. *et al.*. Laser alloying of aluminium alloys with chromium. *Surface and Coatings Technology*, 1995, **70**: 221~ 230
 - 7 Massalski T. B.. Binary alloy phase diagrams. Ohio: ASM, 1986. 142

Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding Ni-WC Coating on Aluminum Alloy

Liang Gongying He Belin Su Junyi

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Zheng Qiguang Wang Tao Gu Jianhui

(National Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract A plasma sprayed Ni-WC coating was cladded on the ZA111 alloy surface by a 5 kW CO₂ laser. Using SEM and X-ray analyses, the microstructure of the laser melted zone was investigated, and the wear resistance of the laser treated samples was measured. Experimental results showed that the Ni-Al intermetallic compounds Al₃Ni, Al₃Ni₂, AlNi and Ni₃Al are dominant in the laser melted zone. Meanwhile, some WC particles were melted during the laser melting, and they separated in carbides during the cooling. The microhardness is very high in the laser melted zone. The wear resistance of laser melted samples is 2.83 times high than the aluminum matrix and 1.75 times high than plasma sprayed samples.

Key words Al-Si alloy, laser surface treatment, microstructure, wear resistance