

铝合金激光熔覆处理等离子涂层的显微组织^①

梁工英 李成芳 苏俊义
(西安交通大学机械工程学院, 西安 710049)

郑启光 陶星之 王 涛 辜建辉
(华中理工大学激光研究所, 武汉 430074)

摘 要 利用 5 kW CO₂ 激光器, 对 Al-Si 合金表面的等离子涂层(Ni-Cr-B-Si)进行熔覆处理。SEM, TEM 和 X 射线衍射分析结果表明, 激光合金层中的组织以铝镍金属间化合物(Al₃Ni, Al₃Ni₂, AlNi 和 AlNi₃) 为主。在激光熔化层的表面, 有富铝的 Al₃Ni 相存在; 而在激光熔化层的内部, 则有富镍的 AlNi₃ 相存在。一些非晶组织出现在激光熔化层亚表层中, 使得该区域有较高的硬度(平均 HV952), 是原等离子涂层的 3 倍和铝合金基底的 12 倍。

关键词 铝合金 激光表面处理 显微组织

中图法分类号 TG156.99

热喷涂已广泛地应用于提高金属零件的表面性能, 例如, 耐磨性和耐蚀性。但是, 即使是等离子喷涂层也存在一些缺点, 如表面层结合强度低, 存在显微缩松和裂纹等^[1]。显然, 这对提高金属零件的耐磨性和耐蚀性是不利的。激光表面处理可有效地改善金属材料的表面性能^[2~4]。近年来, 激光处理铝合金的研究已显示出了很大的优越性^[5~7]。但是, 由于铝合金本身的高导热性、氧化性和对激光的高反射性, 使得铝合金的激光处理远比钢铁材料困难。至今为止, 大多数的研究仍集中在用激光处理较薄的涂层和一些纯金属涂层上^[8, 9]。

等离子喷涂和激光处理都是较新的表面改性技术。结合这两种技术, 有可能在很大程度上改变铝合金的表面性能。至今为止, 这方面的研究报导还比较少。进行激光熔覆层的显微组织研究, 对改善铝合金表面的组织和性能, 完善铝合金的表面改性技术具有实际意义。

1 试验方法

基底材料采用 ZL111 合金, 其化学成分

(质量分数, %) 为 Si 8.23, Mg 0.056, Cu 1.35, Ti 0.057, Mn 0.5, 余为 Al。试样浇注后加工成 50 mm × 35 mm × 10 mm 的矩形板。试样经质量分数为 10% 的 NaOH 溶液热腐蚀及喷沙处理后, 用 METCO 4HC 型等离子热喷涂装置在试样表面进行喷涂处理。喷涂合金成分(质量分数, %) 为 Cr 11~14, B 1.0~2.5, Si 1.5~2.5, Fe 11~14, C < 1.0, 余为 Ni。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 71.3 kW/cm², 激光扫描速度为 10 mm/s。激光处理时, 试样在空气中冷却, 表面由 Ar 气保护。激光熔化处理后, 合金层厚度为 0.5 mm。

沿激光扫描的垂直方向切取横截面制取金相试样。从激光熔区顶部切取厚约 0.5 mm 的薄片, 机械减薄至 0.1 mm, 再由离子轰击减薄制成 TEM 试样。采用 S-2700 扫描电子显微镜进行熔覆层显微组织形貌观察, 由 JEM-200CX 透射电子显微镜进行组织结构分析。显微硬度测量采用 HX-1000 显微硬度计, 载荷

① 华中理工大学激光加工技术国家重点实验室基金资助项目
梁工英, 男, 43 岁, 副教授

收稿日期: 1996-10-11; 修回日期: 1996-12-30

为 0.5 N, 加载时间为 15 s。

2 试验结果及讨论

2.1 显微组织结构

图 1 为激光熔覆区中的 X 射线衍射谱。从图 1 可以看出, 在激光熔覆层中的组织主要为铝镍的 Al_3Ni , Al_3Ni_2 , AlNi 和 AlNi_3 金属间化合物, 同时也存在少量的 Fe_3Al 和 Fe_2Si 。图 2 是位于垂直于激光扫描带的横截面上的、激光区外表面的一张 SEM 照片, 可见有两种不同的组织存在。在外表面的很薄的区域内, 是块状的共晶结构; 而在亚表面, 有许多较大的针状结构。这两个区域的化学成分见表 1。

由表 1 可以看出外表面的块状组织具有很高的铝含量。结合图 1, 我们可以确定, 图 2 中

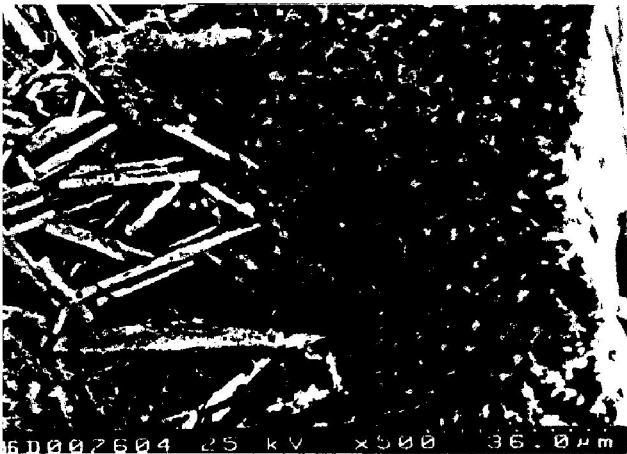


图 2 激光区外表面的 SEM 像

Fig. 2 SEM photo of surface of laser zone

块状组织中白色颗粒相主要为富铝的 Al_3Ni , 而其周围基体为铝的固溶体。因此, 块状组织区为 $\text{Al} + \text{Al}_3\text{Ni}$ 共晶。

图 3 为图 2 中针状区域的高倍 SEM 照片。参考图 1 和表 1 可以看出, 图 3 中针状组织为初生的 Al_3Ni_2 相, 而其周围则为固溶体 Al 和 $\text{Al} + \text{Al}_3\text{Ni}$ 的共晶组织。这与 Al-Ni 二元相图^[10]中相的存在规律是一致的。

图 4 为激光合金层内部的另一张 SEM 照片, 在这张照片中可以看到一些细粒状的组织, 在这组织周围, 还存在有针状组织。这些细粒状组织的化学成分见表 1。利用表 1, 我们可以判断, 这些细粒状颗粒为 AlNi_3 。由于颗粒间含有较高的 Fe, Si 和 Cr, 所以在这个区域将存在多种组织。

2.2 非晶组织

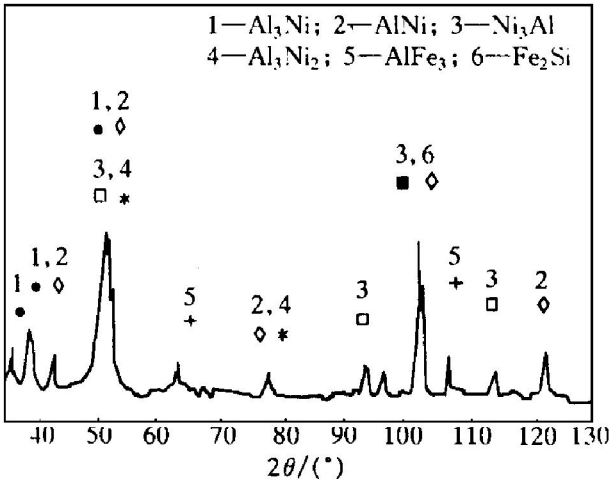


图 1 激光熔覆层的 X 射线衍射谱

Fig. 1 X-ray diffraction pattern in laser cladding

表 1 不同区域的化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical composition in different regions of laser zone(mass fraction, %)							
Structure	Morphology	Al	Si	Fe	Cr	Ni	B
Lump like region	Granular	58.44	2.06	7.42	0.65	26.33	0.14
	Granular space	90.08	0.77	1.52	0.29	4.75	0.24
Needle like region	Needle like structure	38.66	3.09	9.44	1.58	43.04	0.13
	Needle like space	72.43	1.49	2.21	1.03	20.26	0.37
	Eutectic in needle like space	60.45	5.97	3.30	1.13	25.72	0.33
Granular-like region	Granular	17.61	2.84	5.54	2.42	69.49	0.48
	Granular space	20.35	4.86	11.41	6.14	53.09	0.15

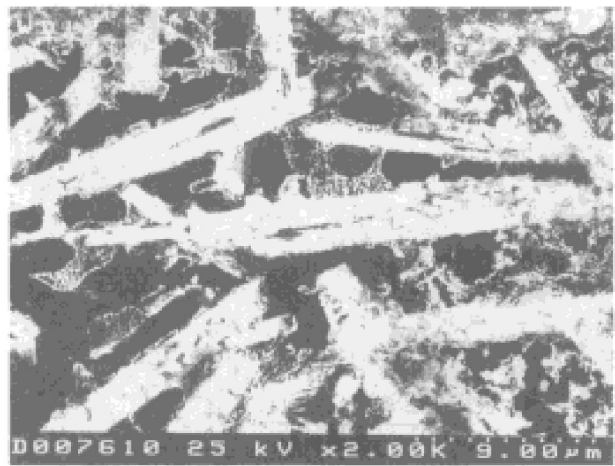


图 3 激光熔区中针状组织的 SEM 像
Fig. 3 SEM photo of needle-like structure in laser melted zone

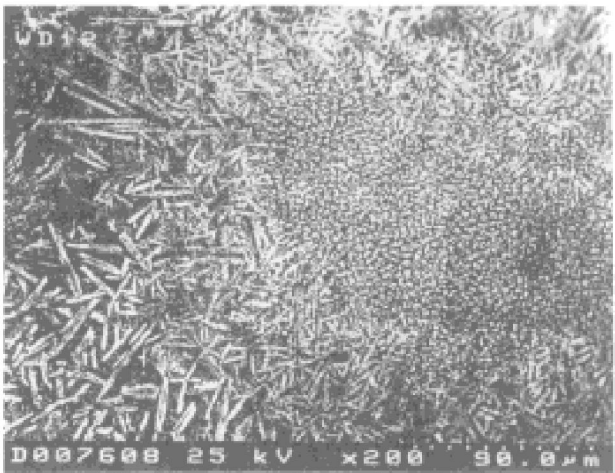


图 4 激光熔区中粒状组织的 SEM 像
Fig. 4 SEM photo of granular-like structure in laser melted zone

表 2 未晶化区的化学成分

Table 2 Chemical composition in non-crystallized region(mass fraction, %)

Element	Al	Si	Fe	Cr	Ni	B
Content	22.99	4.01	8.28	5.33	54.75	0.95

在激光熔覆区内部，还可看到一些未完全晶化的组织(图 5)，这些组织具有很高的硬度(HV 1235)和较高的镍含量，其化学成分见表 2。图 6 为激光熔覆试样表层磨去 0.2 mm 后的

X 射线衍射谱。与图 1 对照，图 6 的衍射峰已有许多消失，而在 AlNi_3 相的主强线(111)，(200) 以及 AlNi 相的主强线(110) 附近，出现了一个衍射峰不明显的衍射区。

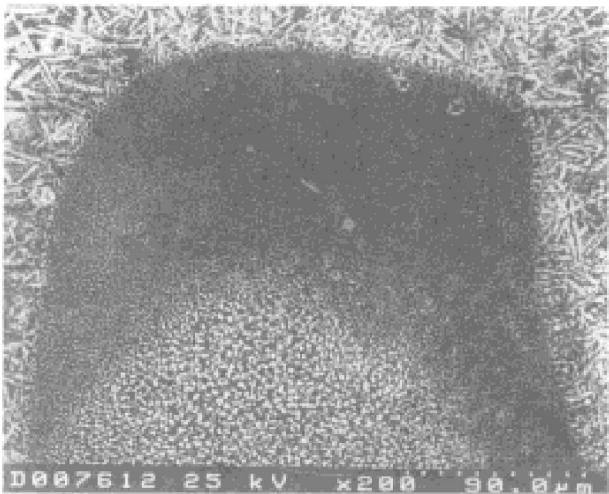


图 5 激光熔区中未完全晶化区的 SEM 像
Fig. 5 SEM photo of non-crystallized region in laser melted zone

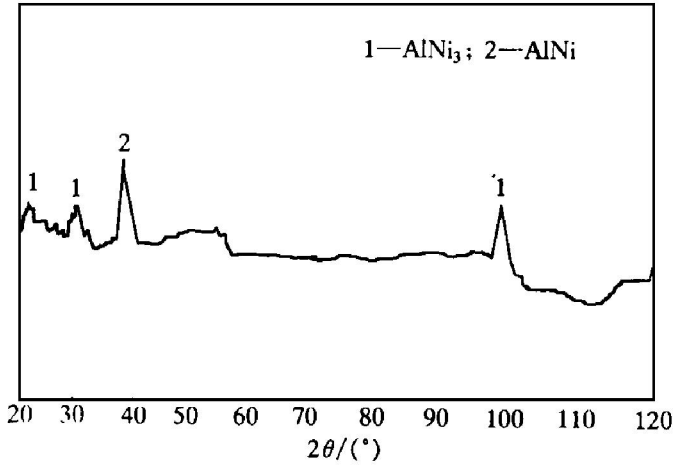


图 6 激光熔覆层内部的 X 射线衍射谱
Fig. 6 X-ray diffraction pattern in inner region of laser melted zone

图 7(a) 为激光熔化区内的 TEM 照片，图 7(b) 为它的电子衍射花样。这是一个典型的非晶晕花样，即图 7(a) 中的组织为非晶。以上这些都说明，在激光熔化层内部确实有非晶组织存在。根据成分分析和 X 射线衍射分析，这是一种 Ni-Al 基的非晶组织。

2.3 硬度分布

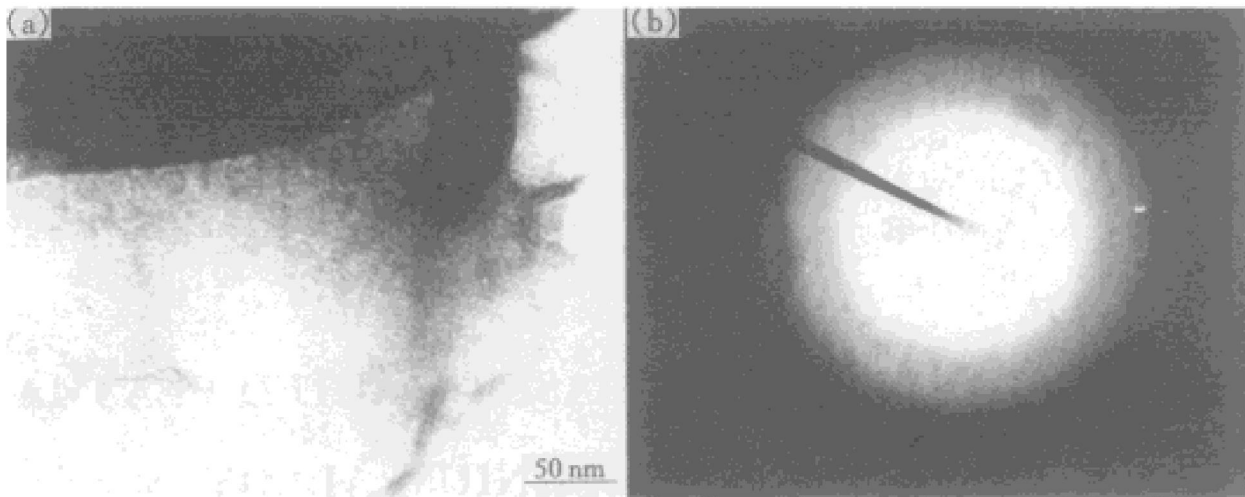


图7 激光熔区的TEM像

Fig. 7 TEM photo of laser melted zone

(a) —Bright field; (b) —Diffraction pattern

图8表示从激光熔化层外表面到内部的显微硬度分布, A区为激光合金化区, B区为激光合金化区和熔化的铝基底的交接区, C区为熔化的铝基底区, D区为铝合金基底。从图8

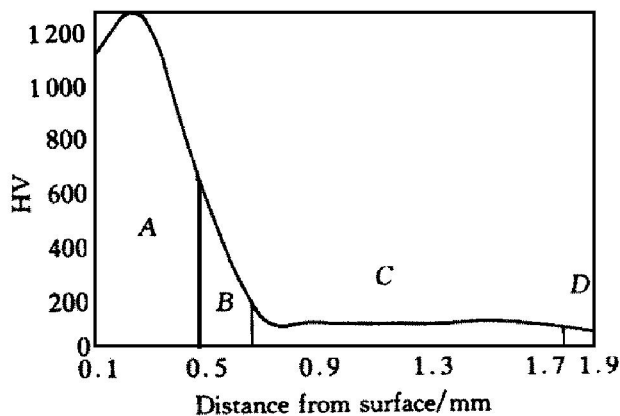


图8 激光层中显微硬度分布

Fig. 8 Distribution of microhardness in laser melted zone

可以看出, 激光合金区(A区)具有很高的硬度, 其平均硬度为HV 952, 远高于喷涂层的平均硬度(HV 297)。在激光合金层中, 由于存在非晶组织, 使得最高的硬度出现在亚表层。由于激光熔化区具有较细的组织 and 较高的位错密度^[5], 致使激光熔化铝合金区(C区)的硬度(HV 120)也高于基底(D区)的硬度(HV 72)。

3 结论

(1) 激光熔覆区的组织以铝镍基金属间化合物 Al_3Ni , Al_3Ni_2 , AlNi 和 AlNi_3 为主。其中, Al_3Ni 相以块状形式、 Al_3Ni_2 以针状形式、 AlNi_3 以细颗粒形式出现。在激光熔区的表层, 存在富铝的 $\text{Al} + \text{Al}_3\text{Ni}$ 共晶; 而在激光熔区的内部, 则存在富镍的 AlNi_3 相。

(2) 在激光熔区的内部存在一些 Ni-Al 基的非晶组织, 这种非晶组织具有很高的硬度 (HV 1235)。

(3) 激光熔区具有很高的硬度, 其平均硬度为 HV 952, 该硬度为等离子喷涂层的 3 倍和原基体的 12 倍。由于存在非晶组织, 使得激光熔区亚表层的硬度最高。

REFERENCES

- 1 Ohmori Akira and Kamada Kazuo. Transaction of JWRI, 1991, 20: 137.
- 2 Damborenea J D *et al.* Journal of Materials Science Letter, 1988, 7(10): 1046.
- 3 Dahotre N B and Mukherjee K. Journal of Materials Science, 1990, 25: 445.
- 4 Renaud L and Fouquet F *et al.* Surface and Coatings

- Technology, 1991, 45: 449.
- 5 Liang G Y *et al.* Chinese Journal of Laser, 1993, B2: 241.
- 6 Das D K *et al.* Materials Science and Engineering, 1994, A174: 75.
- 7 Liang Gongying(梁工英), Li Chenglao(李成劳) and Zhou Jiajin(周家瑾). Acta Metallurgica Sinica(金属学报), 1994, 10: B471.
- 8 Das D K. Surface and Coatings Technology, 1994, 64: 11.
- 9 Matsuda Fukuhisa. Transaction of JWRI, 1991, 20: 77.
- 10 Massalski T B. Binary Alloy Phase Diagrams. Ohio: ASM, 1986: 142.

MICROSTRUCTURES OF LASER MELTED PLASMA COATING ON ALUMINIUM ALLOY

Liang Gongying, Li Chenglao and Su Junyi

School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, P. R. China

Zheng Qiguang, Tao Xingzhi, Wang Tao and Gu Jianhui

Institute of Laser, Huazhong University of Technology, Wuhan 430074, P. R. China

ABSTRACT A plasma coating (Ni-Cr-B-Si) on the Al-Si Alloy was melted by a 5 kW CO₂ laser. Using SEM, TEM and X-ray diffractometer, the microstructures in the laser alloy zone were investigated. Experimental results showed that the Al-Ni intermetallic compounds (Al₃Ni, Al₃Ni₂, AlNi and AlNi₃) were dominant in the laser alloy zone. Some Al-rich AlNi, Al+Al₃Ni eutectics exist in the surface of laser alloy zone, and some Ni-rich in the inner region of laser alloy zone. Some amorphous structures are in the sub-surface of laser alloy zone, which makes this region have higher average hardness (HV 952). This hardness is twice higher than that of the plasma coating and 11 times higher than that of the Al substrate.

Key words aluminium alloy laser surface treatment microstructure

(编辑 彭超群)