

文章编号: 0258-7025(2008)11-1766-04

锰青铜表面激光熔覆镍基合金的微观组织

杨胶溪 左铁钊 王喜兵 陈虹

(北京工业大学激光工程研究院, 北京 100022)

摘要 用 Rofin-Sinar CW025 YAG 激光设备,采用同步送粉的方式进行自溶性 Ni-Cr-B-Si 合金粉末的激光熔覆,获得了无气孔和裂纹缺陷的熔覆层。借助扫描电子显微镜(SEM, LEO 1450)、能谱仪(EDS)、X 射线衍射(XRD)对激光熔覆层进行组织、成分及物相分析。研究结果表明,激光熔覆层与 C86300 铜合金基体实现了良好的冶金结合,激光熔覆层组织主要是 γ -Ni, Cr_7C_3 , Ni_2B , Ni_3B 以及少量 CrB_2 和 Cr_3Si , 并且实现了主要元素(Cr, Fe, Ni, Cu 和 Zn)从基体到熔覆层的梯度分布。

关键词 激光技术;激光熔覆;微观组织;锰青铜;镍基合金

中图分类号 TG 665 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20083511.1766

Microstructure of Laser Cladding Ni-Base Alloy on Manganese Bronze

Yang Jiaoxi Zuo Tiechuan Wang Xibing Chen Hong

(Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract Wear-resistant coatings were fabricated by laser cladding with direct injection of the Ni-Cr-B-Si powder. Laser cladding was conducted with a Rofin-Sinar CW025 YAG laser. Laser cladding coatings were characterized by scanning electron microscopy (SEM, LEO1450), energy disperse spectroscopy (EDS) and X-ray diffraction (XRD). The results show that there is a good metallurgical bonding between the coating and the C86300 bronze substrate without pores and cracks. The laser cladding Ni-Cr-B-Si alloy coating was mainly γ -Ni, Cr_7C_3 , Ni_2B , Ni_3B together with lesser proportions of CrB_2 and Cr_3Si . The basic elements (Cr, Fe, Ni, Cu and Zn) content from the bronze substrate to the coatings vary regularly. Near the interface, the main elements are gradient distributed.

Key words laser technique; laser cladding; microstructure; manganese bronze; Ni-base alloy

1 引言

铜合金具有良好的抗腐蚀性能和较高的强度,可应用于特殊场合。然而,由于铜合金硬度较低,耐磨性能相对较差,因此,期望能够在铜合金零件表面制备硬面材料来提高材料的耐磨性能。在表面改性技术中,激光表面强化技术可获得良好的组织特征,是一项发展较快的新技术。通过激光束在金属零件表面熔覆所设计的粉末材料,激光熔覆技术可改善其表面耐磨性能。

由于铜合金材料具有较高热导率和对激光的反射率,同铝合金、镁合金的激光表面强化所具有的难度一样^[1~4],铜合金表面的激光熔覆工艺难度也较高。目前,与其他工程材料相比,铜合金激光表面改

性的研究相对较少^[5~8]。铜合金表面激光熔覆提高耐磨性的报道也较少^[9,10]。为实现磨损零件修复并获得高的耐磨性能,本文研究在锰青铜表面激光熔覆 Ni-Cr-B-Si 合金^[11,12]。

2 实验材料及方法

实验用基体材料为 UNS C86300 (SAE 430B) 锰青铜,材料成分如表 1 所示,样件切割成 60 mm × 30 mm × 10 mm 的长方体。激光熔覆用 Ni-Cr-B-Si 合金粉末的粒度在 +140 ~ -325 目,材料具有良好的自溶性。

激光熔覆工艺是在 Rofin-Sinar CW025 YAG 激光器上完成的,激光器的最大功率为 2.5 kW,波

收稿日期:2008-01-15;收到修改稿日期:2008-04-09

基金项目:国家 973 计划(2006CB605206-3)资助项目。

作者简介:杨胶溪(1971—),男,山东人,副研究员,博士,主要从事激光表面改性技术及应用的研究。

E-mail: yangjiaoxi@bjut.edu.cn

表 1 C86300 锰青铜的化学成分
Table 1 Concentration of C86300 manganese bronze

Elements	Cu	Zn	Al	Mn	Fe	Ni	Pb	Sn
Mass fraction / %	60~66	22~28	5~7.5	2.5~5	2~4	1.0	0.20	0.20

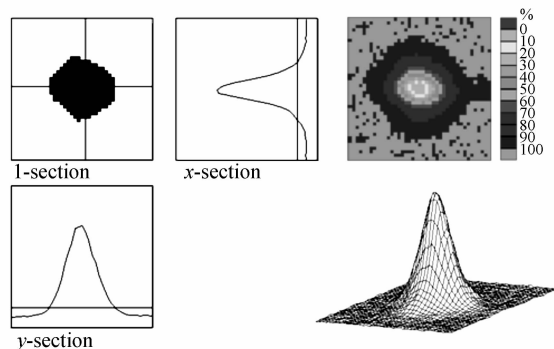


图 1 CW025 YAG 激光光束形式及能量分布

Fig. 1 Pattern and energy distribution of CW025 YAG laser beam

长为 $1.06 \mu\text{m}$ 。用 LQD-I 光束光斑质量诊断仪测量固体激光的光束质量, 光束模式如图 1 所示, 激光器聚焦特征参数为 $K_f = 8.67 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 。Ni-Cr-B-Si 自熔性合金粉末以同步送粉的方式送入激光熔池中, 在氩气保护下获得一定厚度的涂层。在激光熔覆样件上截取金相试样, 经抛光后用试剂 (50 mL H_2O , 40 mL HCl , 10 g FeCl_3) 腐蚀, 腐蚀时间为 30 s。用 LEO-1450 型扫描电镜 (SEM) 进行形貌的观察及其附件能谱仪 (EDS) 进行能谱分析。使用德国布卢克 D8 型 X 射线衍射 (XRD) 仪进行物相分析。

3 实验结果及讨论

3.1 零件磨损及熔覆材料选择

UNS C86300 锰青铜是一种高强度、不可热处理铜合金, 主要用于需要同时具备耐磨和承受极高压力重载低速的应用场合。典型应用主要有低速重载服役的轴承、齿轮、旋下螺母和液压缸等零件。图 2(a) 是重达 4 t 的 C86300 锰青铜旋下螺母, 与材质为 40CrNiMoA 大型花键轴端部外螺纹相配合。花键轴与铜螺母承受重载下实现相对运动, 造成螺母内螺纹的磨损, 磨损情况如图 2(b) 所示, 螺纹侧面明显有深浅不一的磨损沟槽, 平均磨损量在 $50 \mu\text{m}$ 左右, 使得零件达不到配合要求。因此须选择合适的材料进行修复。经测试, 在有润滑的条件下, 锰青铜和 40CrNiMoA 合金钢的摩擦系数为 $0.10 \sim 0.15$, 而镍基合金与 40CrNiMoA 合金钢的摩擦系数为 $0.11 \sim 0.17$, 因此从摩擦副角度可选择镍基合

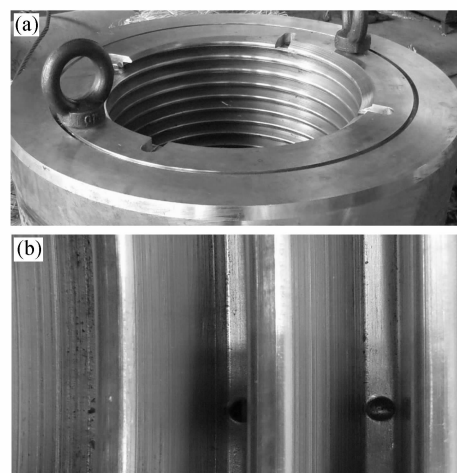


图 2 大型铜螺母(a)及其受磨损内螺纹(b)照片

Fig. 2 Photos of bronze screw down nut (a) and the internal screw thread (b)

金进行铜螺母的修复。

根据 Ni-Cu 二元相图可知, Ni 与 Cu 元素能以任何比例形成固溶体, 材料相容性优异, 因此推断 Ni 基材料能与锰青铜材料形成良好的冶金结合。在激光熔覆的镍基材料中含有 Cr, B, Si 等元素, 材料本身自熔性较好, Ni 基合金激光熔覆层中可形成碳化物、硼化物、硅化物等硬质相, 可明显提高材料的抗磨损性能。所以 Ni-Cr-B-Si 粉末材料是在铜合金基体上熔覆的理想材料。

3.2 激光熔覆层的微观组织

C86300 锰青铜属于高强度的铜合金, 同时也具有较高的热导率和对激光的反射率, 与常规材料相比, 在激光熔覆时需要更高的能量密度以形成熔池。激光熔覆之前, 需要对基材用砂纸打磨成粗糙表面并用乙醇清洗。激光熔覆采用侧向同步送粉, 粉末束流与激光束相吻合, 将镍基粉末准确送入到熔池中形成熔覆层。激光工艺参数由大量前期实验确定, 优化后的工艺参数是: 激光熔覆功率 2.0 kW, 激光扫描速度 4 mm/s, 送粉速率 8 g/min, 熔覆层由多道搭接形成, 其搭接率为 50%。最终获得厚度为 1.5 mm 的熔覆层。

由图 3(a) 可以看出, 熔覆层与锰青铜基体之间为冶金结合, 在最佳工艺参数下制备的熔覆层无气孔、裂纹等缺陷。熔覆层的微观组织说明, 锰青铜基体材料中的低熔点金属 (如 Zn 元素) 没有在激光辐

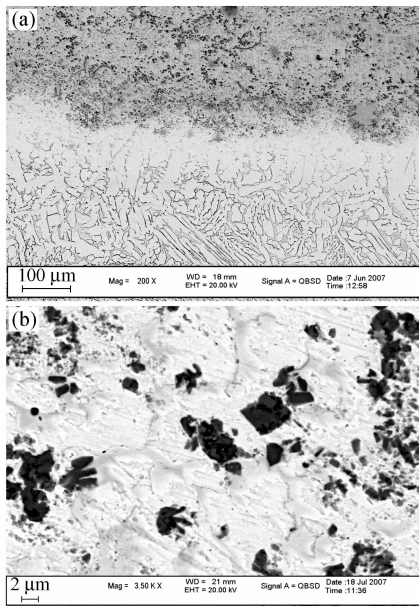


图3 激光熔覆层 SEM 照片。(a) 过渡区;(b) 熔覆层
Fig. 3 SEM image of the laser cladding layer.
(a) transition region; (b) laser cladding coating

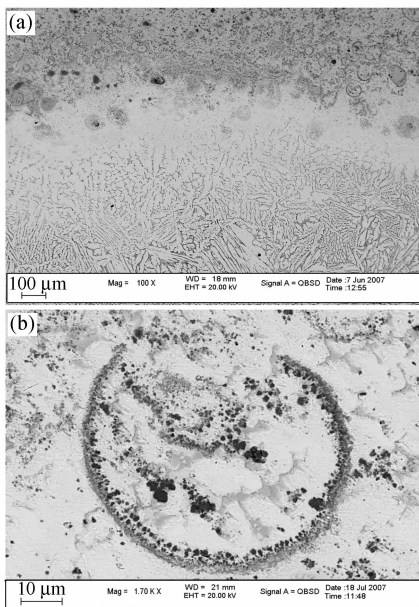


图4 环状黑色组织形貌

Fig. 4 Morphology of ring-shaped phase

照下大量挥发而形成气孔。熔覆组织中存在较多颗粒状的黑色组织,如图 3(b)所示,该黑色组织为 Cr_7C_3 硬质相。在激光熔覆层的过渡区有环状黑色组织存在,如图 4 所示,这些环状黑色组织也是 Cr_7C_3 硬质相,但其成因未能确定。

根据图 5 中 X 射线衍射谱可知,激光熔覆 Ni-Cr-B-Si 合金层的物相主要是固溶体 $\gamma\text{-Ni}$, 铬碳化

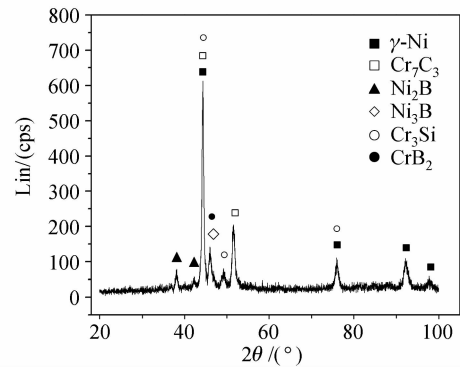


图5 激光熔覆 Ni-Cr-B-Si 合金的 X 射线衍射图谱
Fig. 5 XRD spectrum of the laser cladding
Ni-Cr-B-Si alloy

物 Cr_7C_3 , 金属间化合物 Ni_2B 和 Ni_3B 以及少量的 CrB_2 和 Cr_3Si 。

3.3 激光熔覆层成分分析

在垂直于熔覆层与基体的界面方向上作长度为 $600\ \mu\text{m}$ 的线扫描成分分析。研究发现,从锰青铜基体到涂层,主要元素(Cr, Fe, Ni, Cu 和 Zn)的含量有规律地变化,靠近界面的地方呈梯度分布,如图 6 所示,其中 Cr, Fe, Ni 元素((a)~(c))呈逐渐增加的趋势,而 Cu, Zn((d), (e))呈逐渐降低的趋势,这说明熔覆层与基体之间有稀释,各元素获得了一定程度的扩散。

由工艺研究及测试分析可知,激光熔覆 Ni-Cr-B-Si 合金材料既满足摩擦副的工作要求,同时高硬度的熔覆层与锰青铜实现了冶金结合能够抵抗重载压力下的相对摩擦,从材料方面是符合技术要求的,获得了初步的工艺技术,可作为将来应用的基础。

4 结 论

1) 实现了在高导热、高反射率 C86300 锰青铜材料上 YAG 激光熔覆 Ni-Cr-B-Si 合金材料,在最佳工艺参数下获得与基体冶金结合良好、无气孔和裂纹等缺陷的激光熔覆层,为激光熔覆修复大型铜合金螺母提供了工艺技术。

2) 激光熔覆 Ni-Cr-B-Si 合金层的物相主要是固溶体 $\gamma\text{-Ni}$, 铬碳化物 Cr_7C_3 , 金属间化合物 Ni_2B 和 Ni_3B 以及少量 CrB_2 和 Cr_3Si 。

3) 能谱分析表明,从锰青铜基体到镍基涂层,主要元素(Cr, Fe, Ni, Cu 和 Zn)的含量有规律地变化,靠近界面的地方,呈梯度分布,这说明熔覆层与基体之间有稀释,各元素获得了一定程度的扩散。

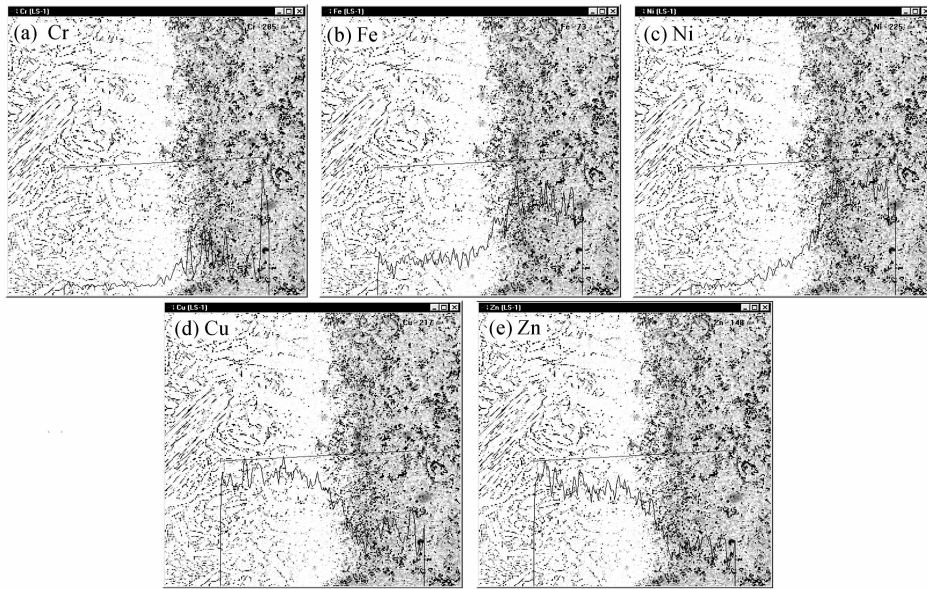


图 6 激光熔覆层过渡区线扫描成分分析

Fig. 6 EDS line-scan analysis of concentration changes in the transition region

参 考 文 献

- Guo Yongli, Liang Gongying, Li Lu. Laser cladding repair of aluminum alloy [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(2):303~306
郭永利, 梁工英, 李 路. 铝合金的激光熔覆修复[J]. *中国激光*, 2008, **35**(2):303~306
- Sun Fujuan, Liu Hongjun, Hu Fangyou. Effect of laser surface remelting on performance of LY12CZ [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(8):1159~1162
孙福娟, 刘洪军, 胡芳友. 激光表面重熔对 LY12CZ 性能的影响[J]. *中国激光*, 2007, **34**(8):1159~1162
- Gao Yali, Wang Cunshan, Liu Hongbin *et al.*. Microstructure and properties of AZ91HP magnesium alloy treated, by high power laser melting [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(7):1019~1024
高亚丽, 王存山, 刘红宾 等. 高功率激光熔凝 AZ91HP 镁合金组织和性能[J]. *中国激光*, 2007, **34**(7):1019~1024
- Huang Kaijin, Lin Xin, Chen Chi *et al.*. Microstructure and wear behaviour of laser clad Zr-Cu-Ni-Al/TiC composites on AZ91D magnesium alloy [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4):549~554
黄开金, 林 鑫, 陈 池 等. AZ91D 镁合金表面激光熔覆 Zr-Cu-Ni-Al/TiC 复合粉末的组织与磨损[J]. *中国激光*, 2007, **34**(4):549~554
- G. Dehm, B. Medres, L. Shepeleva *et al.*. Microstructure and tribological properties of Ni-based claddings on Cu substrates [J]. *Wear*, 1999, **225**(1):18~26
- J. D. Majumdar, I. Manna. Laser surface alloying of copper with chromium I. Microstructural evolution [J]. *Materials Science and Engineering A*, 1999, **268**(1-2):216~226
- Gao Yang, Pan Feng, Tong Baiyun *et al.*. Laser cladding of thermal barrier coatings on copper [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2003, **13**(2):315~318
高 阳, 潘 峰, 佟百运 等. 铜基材料上热障涂层的激光熔覆[J]. *中国有色金属学报*, 2003, **13**(2):315~318
- Liu Fang, Liu Changsheng, Chen Suiyuan *et al.*. Studies of W₂C in-situ reinforced Ni-based coating prepared by laser cladding on copper substrate [J]. *Chinese Journal of Material Research*, 2007, **21**(5):496~500
刘 芳, 刘常升, 陈岁元 等. 铜合金表面激光原位自生 W₂C 增强镍基涂层[J]. *材料研究学报*, 2007, **21**(5):496~500
- K. F. Tam, F. T. Cheng, H. C. Man. Cavitation erosion behavior of laser-clad Ni-Cr-Fe-WC on brass [J]. *Materials Research Bulletin*, 2002, **37**:1341~1351
- K. F. Tam, F. T. Cheng, H. C. Man. Enhancement of cavitation erosion and corrosion resistance of brass by laser surface alloying with Ni-Cr-Si-B [J]. *Surface and Coatings and Technology*, 2002, **149**:36~44
- A. Conde, F. Zubiri, J. de Damborenea. Cladding of Ni-Cr-B-Si coatings with a high power diode laser [J]. *Materials Science and Engineering A*, 2002, **334**:233~238
- Q. Li, T. C. Lei, W. Z. Chen. Microstructural characterization of laser-clad TiCp-reinforced Ni-Cr-B-Si-C composite coatings on steel [J]. *Surface and Coatings Technology*, 1999, **114**:278~284