

半导体激光熔覆与超音速火焰喷涂 Ni60 粉末组织与性能的研究

李正秋¹, 张志坚¹, 石玢¹, 苏义祥¹, 曹驰²

(1. 兰州理工大学 省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学温州泵阀工程研究院, 浙江 温州 325105)

摘要: 分别用半导体激光与超音速火焰喷涂设备在 45 钢基体上制备 Ni60 合金涂层。用扫描电镜、金相显微镜、XRD 对熔覆层进行微观组织和成分的研究。并对熔覆层的显微硬度和耐磨性进行分析。结果表明: 激光熔覆层质量好, 无缺陷, 熔敷层与基体之间形成良好的冶金结合; 超音速火焰喷涂的熔覆层与基体为机械结合, 结合力相对较弱。激光熔覆层内组织致密, 晶粒细小且析出了 C 化合物与 Cr 化合物, 这使激光熔敷层的硬度与耐磨性高于超音速火焰喷涂。

关键词: 激光熔覆; 超音速火焰喷涂; 组织; 性能

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2017.20.040

中图分类号: TG456.7; TG174

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2017)20-0149-03

Study on Microstructure and Properties of Ni60 Powder By Diode Laser Cladding and High Velocity Oxy-fuel

LI Zhengqiu¹, ZHANG Zhijian¹, SHI Yu¹, SU Yixiang¹, CAO Chi²

(1. State Key Laboratory of Advanced Processing and Recycling of Non-ferrous Metals, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Wenzhou Pump and Valve Engineering Research Institute of Lanzhou University of Technology, Wenzhou 325105, China)

Abstract: Using diode laser and high velocity oxy-fuel, respectively, Ni60 alloying coatings were deposited on 45 steel matrix. Using SEM, metallurgical microscope and XRD, the microstructure and composition of the cladding layer were studied. The microhardness and wear resistance of the cladding layer were analyzed. The results show that laser cladding coating has good quality and no defects and the cladding layer has good metallurgical bonding with the base metal. There is a good mechanically bonding between the cladding coating and matrix after high velocity oxy-fuel and the bonding force is relative small. The laser cladding coating has dense microstructure and small grain, C and Cr compounds precipitate in laser cladding coating, which can make hardness and wear resistance of laser cladding coating higher than that of high velocity oxy-fuel.

Key words: laser cladding; high velocity oxy-fuel; microstructure; properties

激光熔覆是将激光作为热源用于表面处理的一种堆焊方法。相比于传统堆焊, 激光堆焊有稀释率小、热输入量小、热影响区范围小、热源易于控制等优点。而半导体激光在聚焦点光斑上的能量分布较为均匀, 所以更易获得低稀释率和较宽的熔覆层, 更适合熔覆^[1]。

超音速火焰喷涂利用丙烷、丙烯等碳氢系燃气或航空煤油、酒精等液体与高压氧气在燃烧室或特

殊的喷嘴中燃烧产生高温高压焰流, 再将粉末送进火焰中, 产生熔化或半熔化的粒子, 以高速撞击基体表面沉积形成涂层。超音速火焰喷涂具有火焰速度高、温度低、效率高的特点, 从而在零件表面获得耐磨性优越、致密性好的涂层, 达到提高零件使用寿命, 降低制造成本的目的^[2]。

本文采用激光熔敷和超音速火焰喷涂两种工艺在 45 钢基体上制备 Ni60 涂层, 并对涂层进行组织结构、硬度、耐磨性的研究, 为其应用提供理论依据。

1 试验材料及方法

基材选用 45 钢, 合金粉末采用 Ni60 自熔性合金粉。激光熔覆热源采用半导体激光器, 试板尺寸为

收稿日期: 2016-07-12

基金项目: 国家火炬计划资助项目(2015GH531401); 温州市激光与光电产业集群科技专项资助项目(j20130014)

作者简介: 李正秋(1990-), 男, 辽宁铁岭人, 硕士生, 研究方向为先进焊接方法; E-mail: 18968923079@163.com

10 cm×4 cm×0.8 cm, 进行单层单道熔敷。激光光斑大小为 4 mm×4 mm、扫描速度 1.5 mm/s、激光波长为 976 nm、激光功率 1300 W。熔敷完成后, 用线切割延着激光扫描方向截取宽度为 10 mm 的金相试样。

火焰喷涂采用 JP8000 型超音速火焰喷涂设备, 喷涂前, 对试板进行除锈、除油、喷砂、预热处理。预热温度 200~300 °C, 预热 5 min。热喷涂氧气压力 0.45 MPa、给进量 30 g/min、距离 340 mm、枪速 600 mm/(s·min)、煤油流量 22 L/h、喷涂厚度 0.4 mm。喷涂后将试件线切割成 20 mm×10 mm×8 mm 的试样。

金相试样用王水腐蚀后, 采用扫描电镜对试样进行分析, 采用维氏硬度仪测定硬度。采用 CFT-1 型球盘往复摩擦磨损试验机检测熔覆层的耐磨性。选用 φ4 mm 的 GCR15 钢球作为磨球, 其硬度为 60 HRC, 载荷为 150 N, 往复滑移距离为 5 mm, 时间 30 min, 测定摩擦系数、磨损量, 并用扫描电镜对磨损形貌进行分析。

2 试验结果与讨论

2.1 显微组织

半导体激光熔敷层的显微组织如图 1 所示。结合快速凝固和成分过冷的理论可知, 熔覆层的显微形态主要取决于凝固区内的凝固速度(R)和温度梯度(G), 尤其取决于两者的比值 G/R 。在凝固刚刚开始时, 溶液与基体保持接触, 溶液与基体界面处的凝固速率几乎为零, 由于基体温度较低, 界面处溶液的温度梯度 G 很大, 此时的 G/R 值非常高, 凝固所释放的热量向界面后方的基体释放, 使结晶面缓慢的向较热的熔液中推移, 所以在凝固刚开始时易形成平面晶, 如图 1(a)中 b 点所示。随着凝固的进行, 凝固速度逐渐加快, 温度梯度逐渐减小, G/R 值降低, 形成了垂直于接合面生长的树枝晶, 如图 1(a)中 a 点所示。枝晶的生长方向是由于垂直于接合面方向的温度梯度和热流密度最大。而在熔覆层上部, 温度梯度 G 进一步减小, 冷却速度 R 继续增大, G/R 值

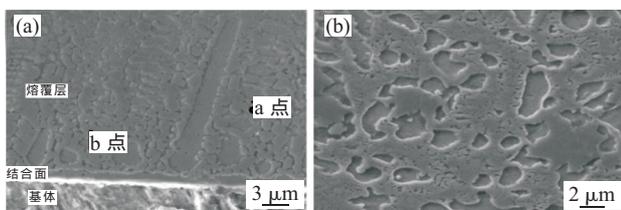


图 1 激光熔覆层的显微组织
Fig.1 Microstructure of laser cladding layer

非常小, 形成了较为细小的树枝晶, 且树枝晶的指向性不明显, 如图 1(b)所示。这是由于此处熔覆层的热量散失是通过周围环境造成的^[3]。由图还可分析知, 激光熔敷与基体结合为冶金结合, 熔覆层质量较好, 无裂纹、气孔等缺陷。

从图 2(a)可见, 通过对 Ni60 激光熔覆层进行 XRD 分析可知, 熔覆层主要由 γ -Ni、 Cr_7C_3 、 CrB 、 FeNi_3 等物相组成。从图 2(b)可见, 超音速火焰喷涂层中主要为 γ -Ni、 Fe_2C 、 Cr_{23}C_6 等组成。

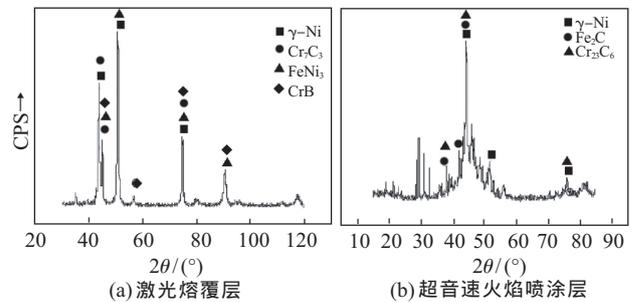


图 2 不同涂层的 XRD 图
Fig.2 XRD patterns of different coatings

图 3 为超音速喷涂涂层剖面的金相组织。可知, 在喷涂过程中高速火焰带动粉末撞击基体, 与基体形成机械结合, 结合强度较低, 但形成的涂层孔隙率低, 涂层厚度较薄。在喷涂层中, 其第二相组织(碳化物、铬化物等)为粒状, 且分布较为疏松。结合 XRD 分析可知, 喷涂层中的碳化物、铬化物等未充分熔化, 且没有形成再结晶析出物。

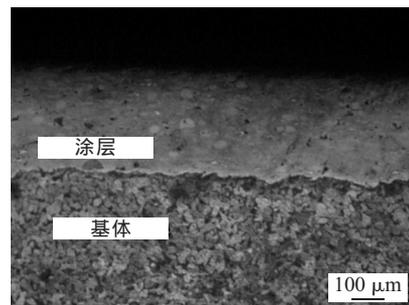


图 3 超音速喷涂涂层与基体结合面组织
Fig.3 Bonding interface microstructure of high velocity oxy-fuel coating and matrix

2.2 显微硬度

图 4(a)为在激光熔敷层横截面上熔覆层顶部向基体的显微硬度分布图。可见, 显微硬度由熔覆层顶端向基体硬度逐渐减小, 而熔覆层的硬度明显高于基体硬度。熔覆层上部硬度较高与冷却速度加快而获得较细的显微组织有关。而在靠近熔合线附近, 熔覆层的硬度明显降低, 这是由于基体元素渗入熔

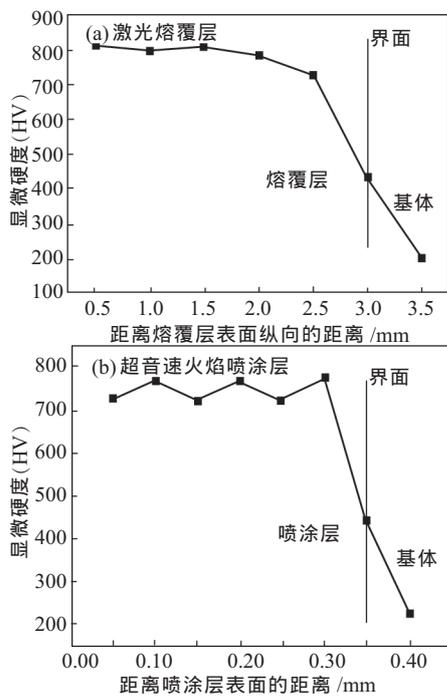


图4 不同涂层的显微硬度
Fig.4 Microhardness of different coatings

覆层,对熔覆层性能造成不良影响。

图4(b)为超音速火焰喷涂横截面上的显微硬度。相较于激光熔覆,超音速火焰喷涂的涂层显微硬度要低于激光熔覆且硬度起伏较大。这是由于超音速火焰喷涂是以高速撞击基体表面沉积形成涂层,合金粉末并没有形成熔化再结晶过程,且第二相组织分布不均匀,造成硬度较低。而激光熔敷经快速加热与快速冷却过程,熔覆层组织更加致密,晶粒更加细小。晶粒越小,晶界越多,晶界面积越大,晶界阻力增加,从而提高了显微硬度^[4]。另外,在激光熔敷过程中,熔敷层中形成了 γ -Ni、FeNi₃等固溶体相起到固溶强化作用,并且形成了Cr的C化合物和B化物等硬质相,这都在不同程度上提高了熔敷层的硬度。

2.3 磨损形貌和耐磨性

图5为超音速火焰喷涂试样的磨损形貌。由图5(a)可知,涂层在该磨损条件下出现明显剥落,并在垂直于磨损方向上产生裂纹。可看出涂层中存在硬质相崩塌、破碎的痕迹。据此分析由于硬质相的剥落而形成了磨屑,从而在涂层表面造成疲劳剥离坑,因此涂层损伤应以剥离为主。

图5(b)为激光熔敷试样的磨损形貌。可看出,磨损后的熔覆层表面相对光滑,未发现有明显的黏

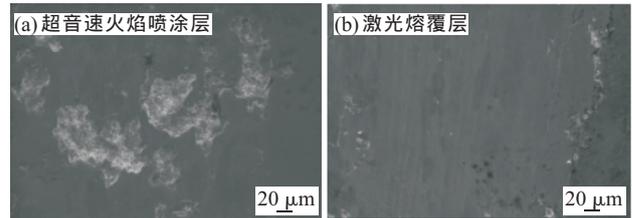


图5 不同涂层的磨损形貌
Fig.5 Wear morphologies of different coatings

着痕迹,同时磨削大部分为粉末状,这与激光熔覆层内部组织相对较细化有关。

图6为激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层的摩擦系数。可见,激光熔敷的摩擦系数要比超音速火焰喷涂涂层的小,即激光熔敷的耐磨性要高于超音速火焰喷涂。

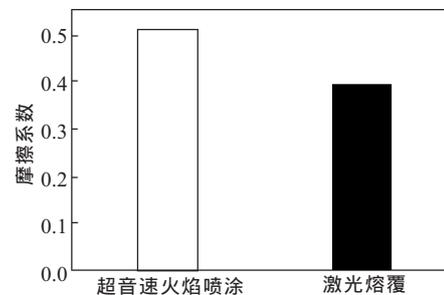


图6 激光熔覆与超音速火焰喷涂的涂层摩擦系数
Fig.6 Friction coefficient of coatings by laser cladding and high velocity oxy-fuel

3 结论

(1) 激光熔敷与基体结合为冶金结合,熔覆层质量较好,无裂纹、气孔等缺陷;超音速火焰喷涂与基体结合为机械结合,结合力差,涂层厚度较薄;超音速火焰喷涂效率高于激光熔敷。

(2) 超音速火焰喷涂与激光熔敷层硬度都高于基体。

(3) 激光熔敷的耐磨性高于超音速火焰喷涂。

参考文献:

- [1] 徐国建,黄雪,杭争翔,等. 激光和TIG堆焊钴基合金的性能[J]. 焊接学报,2013,34(8):48-53.
- [2] 徐滨士,李长久,刘世参,等. 表面工程与热喷涂技术及其发展[J]. 中国表面工程,1998(1):3-9.
- [3] 黄凤晓. 激光熔覆和熔覆成形镍基合金的组织与性能研究[D]. 吉林:吉林大学,2011.
- [4] 徐春鹰,石岩,张宏. 纯Cr粉末激光熔覆层组织分析[J]. 兵器材料科学与工程,2008,31(4):51-54.