

纯铜表面等离子喷焊 Ni60 涂层组织及性能的研究

柯德庆¹, 潘应君¹, 童向阳²

(1. 武汉科技大学 材料与冶金学院, 武汉 430081; 2. 武汉材料保护研究所, 武汉 430030)

[摘 要] 采用等离子喷焊工艺在纯铜基体表面成功制备了 Ni60 焊层, 并对其微观形貌、元素成分、显微硬度及耐磨性能进行分析。分析表明: 焊层与基体呈现良好的冶金结合, 稀释率仅为 5% 左右, 且其显微组织呈细小枝晶状, 硬质相呈弥散分布, 焊层显微硬度高达 606HV, 耐磨性能较 Cu-Ni 合金焊层提高了 1 倍。

[关键词] 等离子喷焊; 纯铜; 稀释率; 耐磨性能

[中图分类号] TG174.442

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2013)04-0091-03

Study on the Microstructure and Properties of
Ni60 Coating by Plasma Spray Welding on Copper

KE De-qing¹, PAN Ying-jun¹, TONG Xiang-yang²

(1. Materials and Metallurgy College, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China;

2. Wuhan Research Institute of Materials Protection, Wuhan 430030, China)

[Abstract] Ni60 coating was successfully prepared by plasma spray welding process, and its microstructure, elemental composition, micro-hardness and wear-resisting property were analyzed. Results show that, the Ni60 coating presented good metallurgical bonding with copper substrate and the dilution rate was only about 5%, microstructure like dendritic crystal was present with dispersed hard phase, the micro-hardness of coating had a significant improvement which approached 606HV, and wear-resistant property increased by 1 times than that of Cu-Ni coating.

[Key words] plasma spray welding; copper; dilution rate; wear-resistant

高炉风口是热风进入高炉的通道, 其使用寿命直接影响高炉的稳定运行、产量、生铁的质量和工人的劳动强度^[1], 因此提高风口寿命是保证高炉正常运行的关键^[2-3]。铜及其合金由于具有良好的导热性能, 常被应用于高炉风口散热零部件^[4-6]。风口长期工作在 1200 ℃ 以上, 受铁液、炉渣的侵蚀和炉料热风的冲刷, 工作条件异常恶劣^[7], 普通铜合金风口易因磨损和高温氧化而失效。文中采用等离子喷焊工艺制备 Ni60 涂层, 该涂层硬度在 60HRC 左右, 与渗碳、渗氮、渗硼、镀铬和某些合金堆焊等表面硬化处理后的硬度相当, 并且具有优良的耐磨性、耐蚀性和抗高温氧化性以及良好的导热性能和高温线膨胀系数^[8], 其寿命较普通铜合金也有所提高。

1 试验

1.1 喷焊

以纯铜作为基体, 将其加工成 120 mm×50 mm×10 mm 的试样。所用 Ni60 粉末的化学成分见表 1。采用 500A 型等离子喷焊机进行喷焊, 氩气作为离子气, 氮气作为保护气, 工艺参数见表 2。喷焊前, 基体需先预热到 600 ℃。

表 1 Ni60 粉末化学成分
Tab.1 Chemical composition of Ni60 powder

元素	C	B	Si	Cr	Fe	Ni
质量分数	0.6 ~	2.5 ~	3.0 ~	14 ~	≤15	余量
/%	1.0	4.5	4.5	17		

表 2 等离子喷焊工艺参数

Tab.2 Plasma spray welding process parameters

电流/A	电压/V	焊距/mm	焊枪移动速率/(mm·min ⁻¹)	焊枪摆幅/mm	氩气流量/(m ³ ·h ⁻¹)	氮气流量/(m ³ ·h ⁻¹)
110	30	8 ~ 10	40	20	0.3	0.5

[收稿日期] 2013-03-12; [修回日期] 2013-04-18

[作者简介] 柯德庆 (1988—), 男, 武汉人, 硕士生, 主攻金属材料表面改性。

[通信作者] 潘应君 (1965—), 男, 武汉人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为金属材料表面改性。

1.2 分析方法

采用 NOVA NAND-400 型扫描电镜观察耐磨层的显微组织,并进行元素线扫描分析。采用 HVS-1000 型显微硬度计测定试样的显微硬度,加载 100 g,载荷保持时间为 5 s。借助 WM-2004 摩擦磨损仪在室温下对焊层进行磨损试验,摩擦副为高速钢,加载系统为杠杆加载。

2 结果及分析

2.1 焊层宏观形貌

图 1 为等离子喷焊 Ni60 涂层的宏观形貌。由图可见,焊层厚度为 2 mm,熔合区窄,表面无明显的气孔、裂纹等缺陷,焊道均匀、平整。

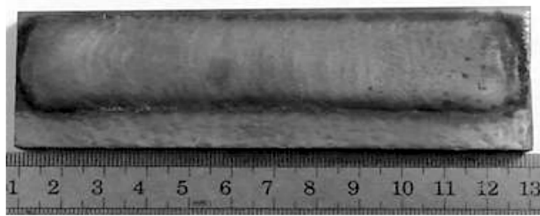


图 1 焊层宏观形貌

Fig. 1 Macro-morphology of plasma spray welding coating

2.2 焊层过渡区

稀释率是衡量喷焊工艺先进性和耐磨层质量优劣的重要指标。稀释率越低,耐磨层和基体各自的化学成分稳定性越好^[9]。图 2 为焊层过渡区的元素线扫描分析结果。

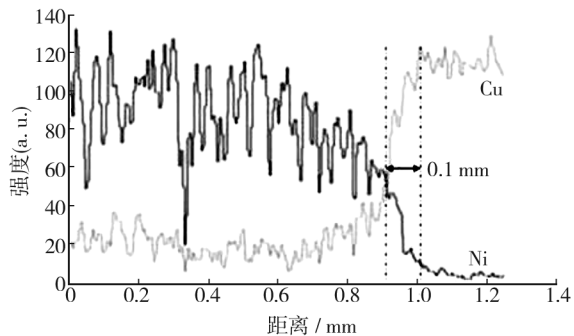


图 2 焊层过渡区元素线扫描分析

Fig. 2 Elemental distribution analysis of plasma spray welding coating's transition area

由图 2 可以看到,Ni 和 Cu 的含量在焊层或基体的变化都比较平缓;在过渡熔合区,扫描曲线逐渐收窄并交叉在一起,表明该处的成分趋于一致,成分无突变,而该区域比较窄,大致为 0.1 mm。根据公式:稀释率=耐磨层熔合区厚度/耐磨层厚度,可以算得稀释率为 5%。

2.3 焊层微观组织

图 3 为焊层整体形貌。从图中可以看出,熔合线是一条较为平滑的直线,近表面区和近熔合区由于液态成分起伏较大且冷却速度不同,出现了明显的组织梯度^[3,10]。焊层大致可分为三个区域,即焊层顶部、焊层中部和焊层底部。

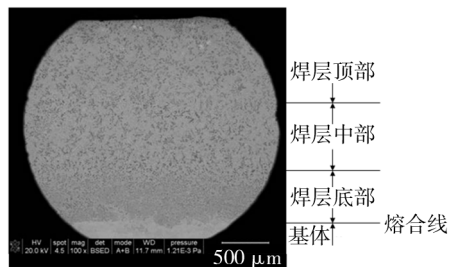


图 3 焊层整体形貌

Fig. 3 Overall morphology of plasma spray welding coating

对焊层各区域进行显微结构观察,如图 4 所示。可见焊层各区域组织明显不同,结合界面晶粒粗大,距离熔合线越远,晶粒越小。

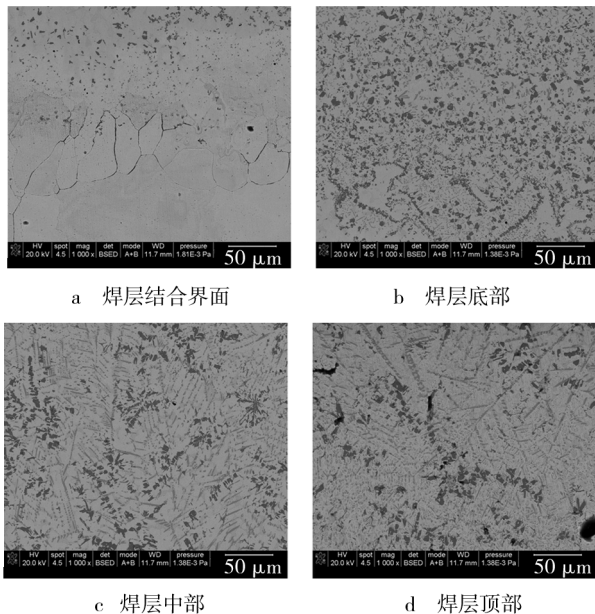


图 4 焊层各区域组织形貌

Fig. 4 Morphology of plasma spray welding coating's each area

焊层结合界面晶粒粗大,是由于等离子喷焊过程中,Ni60 粉末发生熔化,并与局部熔化的纯铜基体形成典型的液-固界面,晶核沿整个界面法线方向向液相中垂直长大,且生长速度很快。由图 4b,c 和 d 可见,焊层基体为块状的含硅镍铝固熔体 γ 相,硬质相由细小点状碳化物、细小块状硼化物组成。焊层底部为细小平滑的胞状结构;焊层中部是较细小的针状结构;焊层顶部组织呈明显的树枝状和长条状。这是由于等离子喷焊过程中,熔池存在很高的温度梯度,在底部近熔合区,温度梯度(G)很大,而冷却速度(R)很小,随着

焊层厚度的增加,温度梯度减小而冷却速度加快,在近表面区 G/R 趋近于 0,导致焊层出现明显的组织梯度。

2.4 焊层显微硬度

图 5 为焊层沿焊深方向的显微硬度分布曲线。基体显微硬度为 51.5HV,熔合区硬度为 154HV,近熔合区硬度出现明显升高,到焊层中部高达 606HV,随后呈缓慢降低趋势。

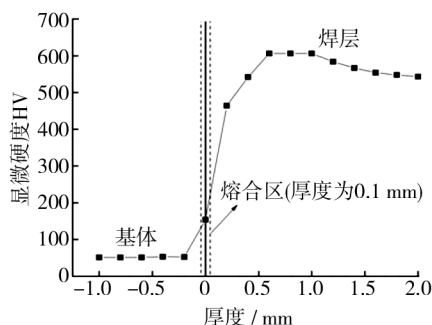


图 5 焊层显微硬度分布曲线

Fig. 5 Micro-hardness distribution curve of plasma spray welding coating

焊层各区域硬度比基体均有较大提升,且硬度分布规律明显。这是由于焊层底部近熔合区分布着的大量含硅镍铬固溶体 γ 相起到了固溶强化作用,焊层中部和顶部弥散分布着的细小点状碳化物及硼化物硬质相起到了弥散强化作用,使晶粒长大受到抑制。焊层顶部的显微硬度较焊层中部有缓慢下降趋势,这可能是由于硬质相的大小和数量分布各不相同,加上晶体中不同位错的交互作用,导致显微硬度存在差异^[8]。

2.5 焊层耐磨性能

图 6 为 Cu-Ni 合金及 Ni60 焊层磨损性能对比曲线。由图可知,摩擦磨损试验 3 h 后,Cu-Ni 合金磨损质量损失为 0.0724 g,而 Ni60 焊层的磨损质量损失为 0.0360 g,可见 Ni60 焊层具有优异的耐磨损性能。这主要是由于 Ni60 焊层组织细小致密,且硬质相析出较多,焊层硬度高;同时,焊层基体主要为 Ni-Si 固溶体韧性相,磨损过程中易发生塑性变形,使得接触面积增

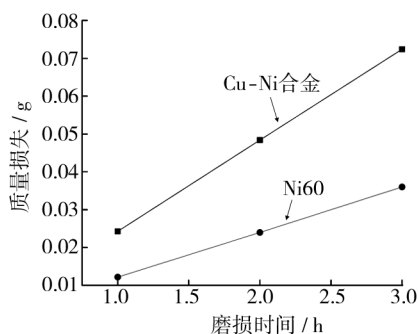


图 6 磨损质量损失对比

Fig. 6 Comparison of the wear weightlessness

大,接触应力降低,从而磨损量减少。

3 结论

1) 采用等离子喷焊工艺在纯铜基体表面制备 Ni60 焊层,其稀释率仅为 5%,表面成形良好,无明显缺陷。焊层结合界面晶粒粗大,底部为细小平滑的胞状结构,中部是较细小的针状结构,顶部组织呈明显的树枝状和长条状。

2) 由于弥散强化和固溶强化的共同作用,焊层具有很高的硬度,最高显微硬度达 606HV,较纯铜基体的 51.5HV 有大幅度提升。

3) Ni60 焊层的耐磨性能良好,比 Cu-Ni 合金提高了近 1 倍。

[参 考 文 献]

- [1] 侯向东. 提高风口使用寿命的探讨[J]. 科技情报开发与经济, 2001(6): 139—140.
- [2] WANG Xi-bao, LI Chun-guo, PENG Xiao-min, et al. The Powder's Thermal Behavior on the Surface of the Melting Pool During PTA Powder Surfacing[J]. Surface & Coatings Technology, 2006, 201: 2648—2654.
- [3] SUDHA C, SHANKAR P, SUBBA RAO R V, et al. Microchemical and Microstructural Studies in a PTA Weld Overlay of Ni-Cr-Si-B Alloy on AISI 304L Stainless Steel[J]. Surface & Coatings Technology, 2008, 202: 2103—2112.
- [4] 万安元. 国内外板坯结晶器镀层情况简介[J]. 材料保护, 2001, 34(4): 37.
- [5] 刘芳, 刘常升, 陶兴启, 等. 结晶器铜板表面处理的研究进展[J]. 表面技术, 2006, 35(3): 1—3.
- [6] 陈翔峰, 穆振军, 许春生, 等. 铜及铜合金在厦门海域实海暴露腐蚀规律研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(2): 1—2.
- [7] 路鹏程, 李智超. 有色金属热喷涂陶瓷涂层研究进展[J]. 材料热处理技术, 2009(9): 82—89.
- [8] 朱润生. Ni60 自熔合金粉末的研究[J]. 粉末冶金工业, 2002, 12(6): 7—16.
- [9] 李振东, 汪瑞军, 李宏, 等. Cu 基体表面 PTA 工艺制备 Ni 基耐磨层研究[J]. 热喷涂技术, 2011, 3(3): 17—21.
- [10] 葛言柳, 邓德伟, 田鑫, 等. 焊接参数对 Ni60 合金等离子堆焊层组织结构和显微硬度的影响[J]. 中国表面工程, 2011, 24(5): 26—31.