

一种基于 Ni60 的激光熔覆耐磨合金粉末设计

何建群, 刘森, 成巍, 任远

(齐鲁工业大学 (山东省科学院), 山东省科学院激光研究所, 山东济南 250103)

摘要: 针对 Ni60 合金粉末进行了成分设计优化, 通过添加 WC 提高耐磨性, 调整 B 和 Si 元素以及 WC 含量控制熔覆层的开裂敏感性, 并进行了工艺验证, 形成了激光熔覆专用耐磨合金粉末。结果表明: 设计的新粉末经激光处理后, 可获得无明显裂纹而微观裂纹少的较高质量熔覆层, 熔覆层的开裂敏感性减小, 耐磨性明显提高。

关键词: 合金粉末; 激光熔覆; 开裂敏感性; 耐磨性

中图分类号: TG174.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-7127 (2018) 12-0007-05

DOI 10.3969/j.issn.1674-7127.2018.04.007

Design Optimization of Wear Resistant Alloy Powder Based on Ni60 for Laser Cladding

HE Jianqun, LIU Sen, CHENG Wei, REN Yuan

(Laser Research Institute , Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences) , Jinan 250103, China)

Abstract: The componen of Ni60 alloy powder is optimized in this paper. Improvement of wear resistance with addition of WC, and controlling the cracking sensitivity of cladding layer by adjusting the content of B, Si and WC. The process validation was carried out. A special wear-resistant alloy powder for laser cladding was formed. The results show that the new powder can obtain high quality cladding without obvious crack and little microfissure by laser treatment. The cracking sensitivity of the cladding layer is decreased and the wear resistance is significantly increased.

Key words: Alloypowder; Lasercladding; Cracking sensitivity; Wear resistance

0 引言

Ni60 是一种常用的激光熔覆粉末, 可以在相对较低的温度下熔化。WC 硬度高、耐磨性好, 可以和 Ni 基材料良好地润湿。在 Ni 基熔覆材料中加入 WC 后, 形成 WC/Ni60 复合熔覆层, 复合熔覆层的耐磨性能和硬度明显好于单纯的 Ni 基熔覆层^[1-4]。

激光熔覆金属陶瓷层具有与基材结合强度高、

稀释率低、硬度高、耐磨与耐蚀等优点, 在耐磨损与耐腐蚀构件的制造与关键零部件的表面修复等领域具有广阔的应用前景^[5]。但是, 激光熔覆金属陶瓷层易开裂的特性严重阻碍了其在工业领域中的广泛应用。

本文针对 Ni60 合金耐磨涂层易开裂的问题, 通过控制合金粉末 B 和 Si 元素的含量降低激光熔覆过程中的开裂敏感性, 添加 WC 可能提高熔覆层的耐磨性, 同时可减少耐磨合金涂层开裂的敏

感性。

1 粉末配比设计

本文通过调整 Ni60 合金粉末 B 和 Si 元素成分, 形成 Ni45 合金粉末, 单纯的 Ni45 粉末激光熔覆层硬度约为 46HRC, 具有较高的硬度和一定的韧性。在 Ni45 粉末中添加 WC, 具有较低热膨胀系数和高硬度的球状 WC 较均匀地分布在 Ni45 熔覆层中, 使得整个熔覆层具有很好的滑动磨损和抗磨粒磨损性能, 同时使得熔覆层具有低的开裂敏感性。最终形成的合金粉末组成 (wt%) 为: 40%Ni45+60% 球状铸造 WC, 如图 1, 为方便区分, 本文中称该粉末为新粉末。由于该激光熔覆用合金粉末的 Ni 含量较低, 所以成本较低。另外, 该合金粉末中添加了大比例的高硬度碳化钨硬质合金颗粒以增强熔覆层的耐磨性。

试验采用半导体激光器进行多道激光熔覆, 矩形光斑尺寸为: 14×2 mm, 输出功率 4000 W, 扫描速度 7 mm/s, 熔覆层厚度 $h=1.5$ mm, 采用预置送粉的方式, 搭接率 50%。利用着色探伤法显示各熔覆层中的裂纹并测量各裂纹的长度, 用单位熔覆面积上的各裂纹的长度之和来衡量熔覆层开裂敏感性的大小。



图 1 新型合金粉末样品

Fig. 1 Diagram of the new alloy powder

1.1 硼和硅含量对熔覆层性能的影响

采用热喷涂用自熔合金粉末 Ni60 和自行研制的粉末 Ni45 作为对比试验, Ni45 粉末在 Ni60 粉末成分基础上减少了硼和硅含量, 两种粉末其余元素含量 (wt%) 均为: Cr: 19-21, C: 0.6-0.8, Fe: 4-6, Ni: 余量。

Ni60 和 Ni45 均为熔炼雾化法所获得, 粉末粒度为 -100+300 目, 两种粉末中硼和硅含量见表 1。

表 1 硼和硅含量对熔覆层性能的影响

Table 1 Effect of boron and silicon content on the properties of cladding layer

	B 含量 (wt%)	Si 含量 (wt%)	熔覆层硬度	肉眼能否 看到明显裂纹	熔覆层开裂 敏感性 (mm/cm ²)
Ni60	2.5-3.1	3.6-4.3	58 HRC	是	16
Ni45	1.1-1.6	1.8-2.2	46 HRC	否	4

由表 1 可见, 在热喷涂用自熔合金粉末 Ni60 基础上降低硼和硅含量可明显降低激光熔覆层的开裂敏感性, 改进后获得的 Ni45 粉末熔覆层裂纹明显减少。

1.2 WC 含量对熔覆层性能的影响

分别在 Ni45 粉末中添加 40%wt 和 60%wt 的球状 WC 激光熔覆层的裂纹敏感性如表 2。

表 2 WC 含量 (wt%) 对熔覆层开裂敏感性的影响

Table 2 Effect of WC content (wt%) on cracking susceptibility of cladding layer

	肉眼是否能看 到明显裂纹	熔覆层开裂 敏感性 (mm/cm ²)
70%Ni45+30%WC	是	17
40%Ni45+60%WC	否	8

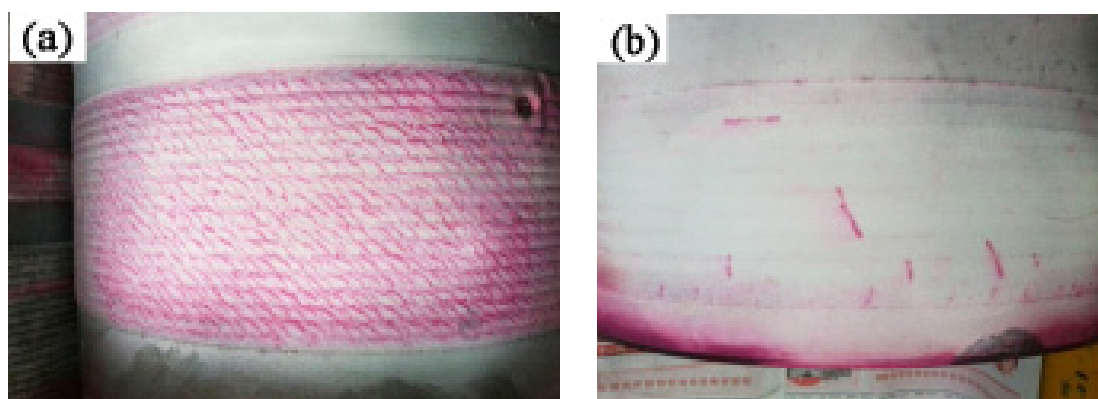


图 2 粉末激光熔覆表面 PT 探伤图 : (a) Ni60 (b) Ni45

Fig.2 PT defectogram of the laser cladding surface: (a) Ni60 (b) Ni45

由表 2 可见,当熔覆层中的 WC 含量(30%wt)较少时,熔覆层开裂敏感性很大,而当熔覆层中

的 WC 含量(60%wt)较大时,熔覆层开裂敏感性变小。

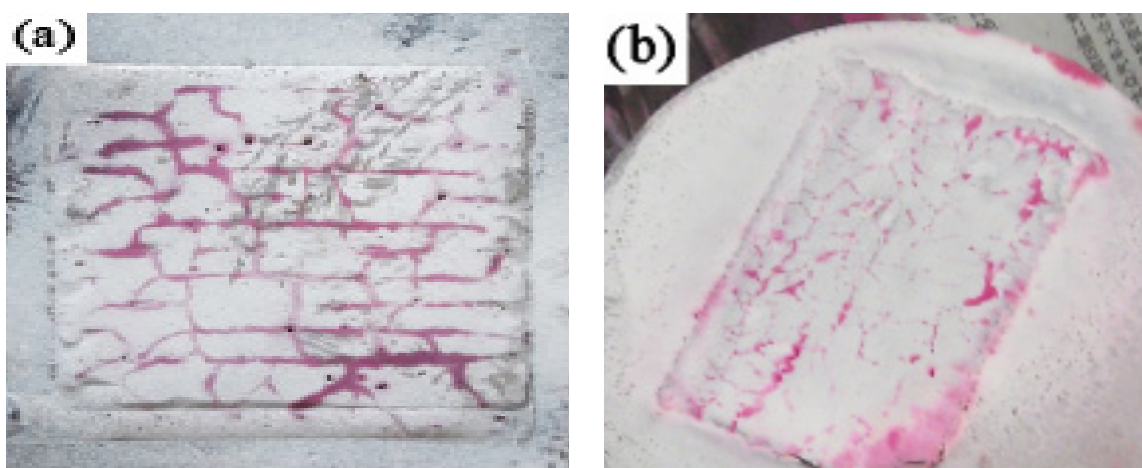


图 3 粉末激光熔覆后表面 PT 探伤图 : (a) 70%Ni45+30%WC (b) 40%Ni45+60%WC

Fig. 3 PTdefectogram of the laser cladding surface : (a) 70% Ni45+30% WC (b) 40% Ni45+60%WC

造成这种现象的原因在于:当熔覆层中的 WC 含量(30%wt)较少时,由于镍基熔覆层中存在可以作为裂纹萌生位置的第二相 WC 颗粒,熔覆层的开裂敏感性显著增加,而当 WC 含量(60%wt)较大时,由于 WC 的热膨胀系数(约 $7 \times 10^{-6}/K$)显著小于镍基熔覆层的热膨胀系数(约 $15 \times 10^{-6}/K$)和 NM360 钢基体的热膨胀系数(约 $13 \times 10^{-6}/K$),可以显著降低整个熔覆层的热膨胀系数,从而使得整个熔覆层处于压应力状态,显著降低了熔覆层开裂敏感性。尽管当熔覆层中

的 WC 含量(60%wt)较大时,熔覆层还存在少量微观裂纹,但对熔覆层的耐磨性不会有明显影响。

2 工艺验证

试验对 NM360 钢板进行激光熔覆。为验证新粉末的耐磨性能,制备摩擦磨损试样,与常用的耐磨粉末 Fe90 作对比研究,对比合金粉末有 Ni45+40%WC、Fe90, Ni60, 新粉末,激光熔覆表面形貌如图 4。

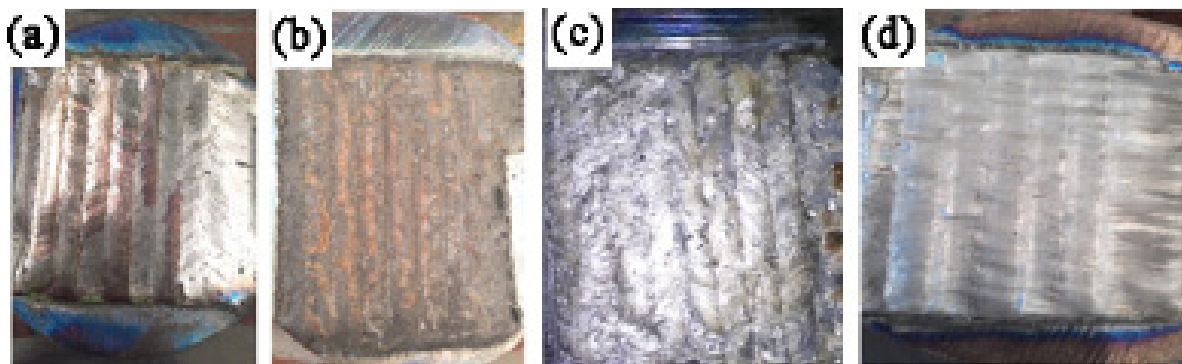


图 4 激光熔覆表面形貌图：(a) Fe90; (b) Ni45+40% WC; (c) Ni60; (d) 新粉末

Fig.4 Surface topography of laser cladding : (a) Fe90; (b) Ni45+40% WC; (c) Ni60; (d) the new powder

2.1 耐磨性对比检测

分别用砂轮磨盘打磨试样表面，模拟磨损，表面效果如图 5，熔覆层磨损难易程度排序为：新粉末 > Ni45+40% WC > Ni60 > Fe90。放大磨

痕发现：新粉末沟槽细腻平整、光亮；Ni45+50% WC 和 Ni60 磨痕细腻；Fe90 磨痕最深，平直且光亮。

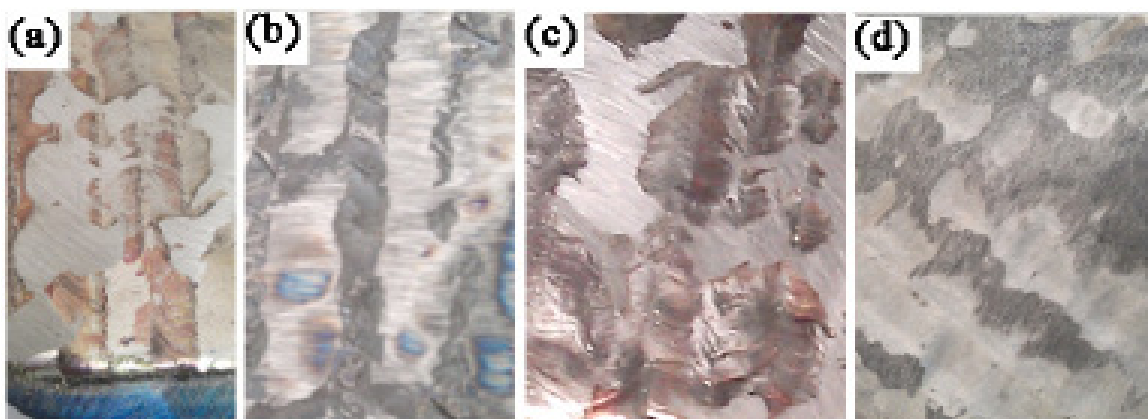


图 5 熔覆试样砂轮打磨效果图 (a) Fe90; (b) Ni45+40% WC; (c) Ni60; (d) 新粉末

Fig.5 The impression drawing of the laser cladding samples sanded by grinding wheel :

(a) Fe90; (b) Ni45+40% WC; (c) Ni60; (d) the new powder

四种粉末熔覆试样加工 $\Phi 43\text{mm}$ 的摩擦磨损下试样，在 MMU-10G 微机控制机高温摩擦磨损试验机上进行磨损实验，法向载荷 200 N，转速 100r/min，对磨材料为 45 钢，持续时间 1h，计算失重量，三次取平均，熔覆层磨损难易程度为：新粉末 > Ni45+40% WC > Ni60 > Fe90，统计实验数据如表 3。

图 6 为新粉末摩擦系数—时间曲线图，由图可以看出随着磨损时间的增加，熔覆层表面不断磨损。摩擦系数的变化总趋势是趋于增大。过程

中周期性地出现相应的阶跃起伏和平缓变化交替的现象。

Fe90 合金粉末为中部槽强化常规用合金粉末，该合金粉末添加一定量的 Cr、Ni 等元素，且含有一定量的 Mo 元素，使得熔覆层具备良好的延展性及韧性，熔覆成形后耐磨性能优异。该文中设计的新粉末由于掺杂了大量 WC，其耐磨性能要明显优于铁基 90 粉末，部分 WC 熔解后，W、C 元素随熔池强烈对流，固溶于 Ni 原子中，产生固溶强化效果；另外，WC 重熔后与基体元素生

表 3 耐磨性检测

Table 3 The wearing performance testing

序号	材料	时间 (h)	磨损实验前重量 (g)	磨损实验后重量 (g)	失重 g	摩擦系数
1	Ni45+40%WC	1	12.3140	12.3136	0.0004	0.50
2	Fe90	1	8.4577	8.4570	0.0007	0.60
3	Ni60	1	12.2132	12.2127	0.0005	0.55
4	新粉末	1	13.5663	13.5661	0.0002	0.23

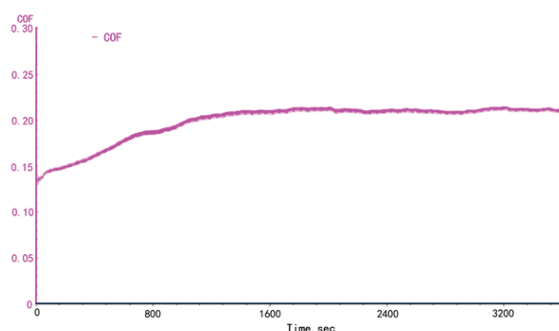


图 6 新粉末摩擦系数—时间曲线

Fig.6 The variation curve between the friction coefficient and the time of the new powder

成多种碳化物且在未熔 WC 颗粒附近聚集，或游离于覆层中，起到弥散强化的作用。

2.2 金相分析

当熔覆层中的 WC 含量 (60% wt) 较大时，对熔覆层进行了微观金相分析 (图 7)。由图 7 可见，高硬度的球状 WC 较均匀地分布于熔覆层中，可显著提高熔覆层的耐磨性。熔覆界面干净、平滑，熔覆层与基体呈冶金结合。WC 颗粒分布较为均匀，且原有铁基粉末熔覆层合金结晶更为细化。将 A 局部放大发现，WC 颗粒与基体合金融合状态佳。

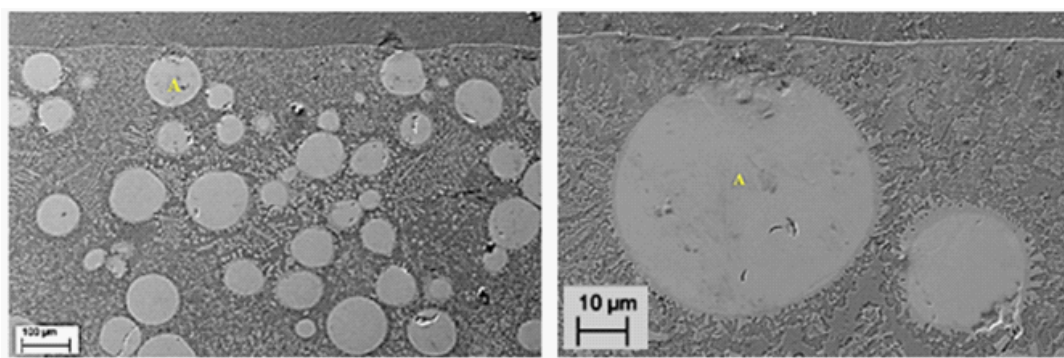


图 7 新粉末熔覆层

Fig.7 Microstructure of the cladding layer of the new powder

Ni45 自熔合金在复合涂层中起粘结相的作用，使熔覆层在具有高硬度的同时还具有一定的韧性，这可以极大地提高熔覆层耐磨性；WC 本身是极硬的耐磨材料，激光功率密度不是很高时，使得熔覆层中部分 WC 颗粒没有发生熔化更没有与周边组织结合产生二次相，熔覆层得以

保持 WC 高耐磨特性^[6]。实验表明，激光熔覆 Ni45+60%WC 复合粉末能获得较优的耐磨性。

3 结论

(1) 降低镍基合金粉末中的硼和硅含量可明

(下转 22 页)

