

文章编号:1673-9981(2010)02-0110-05

一种新型耐磨涂层的组织和性能研究

赵利^{1,2}, 张鸿¹, 洪瑞江³, 宋进兵², 李福海², 况敏²

(1.中南大学, 湖南 长沙 410083; 2.广州有色金属研究院, 广东 广州 510650; 3.中山大学, 广东 广州 510275)

摘要:以 WC-10Co4Cr 和纳米不锈钢粉末及其混合粉末为原料,利用 HVOF 超音速火焰喷涂工艺制备了四种涂层,对涂层的显微组织、硬度、耐磨性能以及涂层的沉积效率和生产成本进行了研究.结果表明:当加入 SHS7170 质量分数为 15% 和 35% 时,涂层的致密度提高,硬度降低 HV100~150. 而加入 35% SHS7170 时涂层的耐磨性略有降低,加入 15% SHS7170 时涂层的耐磨性变化不大. 使用 WC-10Co4Cr 和 SHS7170 混合粉末制备涂层可以减少涂层沉积时间和生产成本.

关键词:WC-10Co4Cr; 纳米不锈钢粉末; 耐磨性能; 超音速火焰喷涂

中图分类号: TG174.44

文献标识码: A

超音速火焰喷涂技术是上世纪 80 年代研发的热喷涂方法,由于其火焰温度低、速率高,在喷涂金属、陶瓷粉末过程中能有效抑制化合物的分解. 利用此技术制备的涂层结合强度高、密度大、均匀性好,已成为制备耐磨涂层的首选方案^[1]. 利用超音速火焰喷涂(HVOF 或 HVAF)的碳化钨涂层,具有较高的硬度和良好的耐磨性,已成为广泛应用的耐磨涂层之一^[2]. 由于碳化钨粉末价格高,导致生产成本相应提高. 最近,国外出现了一种能提高碳化钨涂层性能,同时又可降低其成本的方法. 根据专利 US 2007/0243335 和内部报告显示^[3],这种新型涂层的制备方法是在碳化钨粉末中添加非晶或纳米晶合金粉末,利用非晶和纳米晶合金价格低、耐磨性好的特点,提高涂层的耐蚀性和韧性,并降低涂层的制备成本.

1 实验方法

以 10~38 μm WC-10Co4Cr 粉末和 15~45 μm 纳米不锈钢(SHS7170)粉末为原料,按一定比例(表 1)机械混合 24 h 制得喷涂粉末. 涂层制备采用 HVOF 超音速火焰喷涂工艺,所用设备为德国 GTV 公司的超音速火焰喷涂系统. 喷涂参数列于表 2.

表 1 粉末的组成

Table 1 Composition of powder

粉末编号	w(WC-CoCr)/%	w(SHS7170)/%
1	100	0
2	85	15
3	65	35
4	0	100

表 2 HVOF 喷涂工艺参数

Table 2 The technological parameters of HVOF

参数	参数值
煤油流量/(L·min ⁻¹)	0.43
氧气流量/(L·min ⁻¹)	900
燃烧室压力/MPa	0.73
喷嘴	150/11
送粉氮气流量/(L·min ⁻¹)	9.0
送粉盘转速/(r·min ⁻¹)	1.5~2.0
喷距/mm	380
喷枪横向移动速度/(mm·s ⁻¹)	1100
移动间距/mm	5
喷涂遍数	6~15

收稿日期:2010-04-19

作者简介:赵利(1977—),女,陕西西安人,工程师,学士.

试样的基体材料为 304 不锈钢. 试样表面经丙酮除油处理后,再用 120 号白刚玉砂在 0.30~0.35 MPa 压力下进行喷砂处理. 喷砂处理后的表面粗糙度为 Ra 2~3 μm .

采用 Leica DM DRM 金相显微镜和 JSM 5910 扫描电镜观察涂层的组织结构、涂层与基体的界面状况以及涂层中微观缺陷情况(孔隙分布、氧化物等),以表征涂层质量. 通过图像分析软件测定涂层的孔隙率和氧化物含量. 采用 MH-5 显微硬度计测定试样的显微硬度,根据 GB/T 4342 所用载荷为 300g,载荷保持时间为 15 s. 采用日本 SUGA 公司的 NUS-ISO3 磨损实验机测试涂层的耐磨性,磨损试样尺寸为 50×30×4 mm,对磨材料为 180 号金相砂纸,磨损实验次数为 2000 个来回,涂层表面不处理,以喷涂态的形式直接进行磨损测试.

2 结果与讨论

2.1 混合粉末形貌

表 1 列出的 4 种粉末的显微形貌如图 1 所示. 由图 1(a)可看出,1 号粉末是采用典型的团聚烧结法制备的粉末,球形度好,流动性好,非常适合于超音速火焰喷涂,能有效减少送粉不均匀或堵塞情况的发生;粒度分布较均匀,细粉较少,有利于制备高质量涂层. 由图 1(b)、(c)可看出,2 号和 3 号粉末分布较为均匀,其中 3 号粉末 SHS7170 相的量明显比 2 号粉末多. 由图 1(d)可看出,4 号粉末是气雾化方法制备的金属粉末的典型形貌,其中存在部分球形度稍差的颗粒.

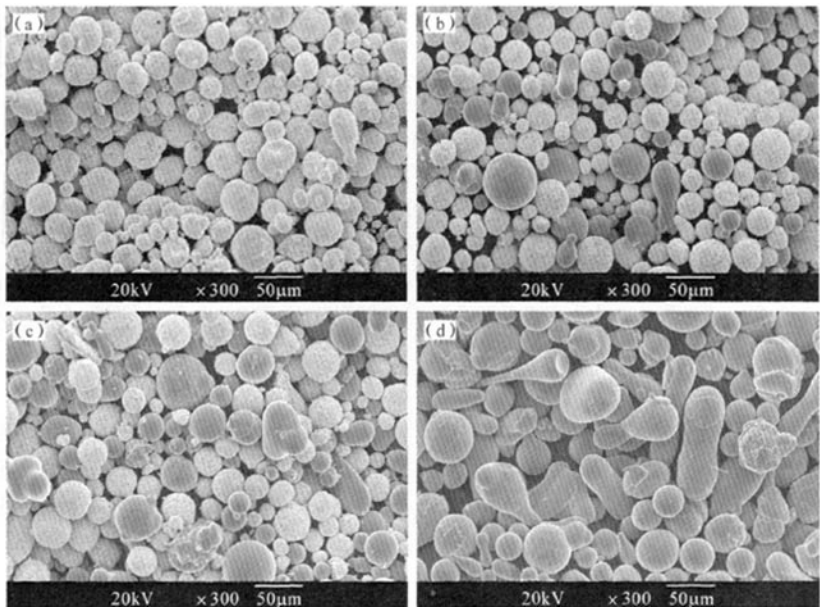


图 1 粉末形貌
(a) 1 号粉末; (b) 2 号粉末; (c) 3 号粉末; (d) 4 号粉末
Fig.1 Surface topography of powder

2.2 涂层形貌

由 1~4 号粉末制备的涂层分别称为 1~4 号涂层. 图 2 是 1~4 号涂层的显微组织形貌. 图 2(a)表明,1 号涂层比较致密. 利用图像分析软件,测得 1 号涂层的平均厚度约为 208 μm ,孔隙率约为

1.76%. 图 2(b)表明,2 号涂层比 1 号涂层更致密,图中颜色较深的相是混合粉末中的不锈钢成分,涂层厚度为 223 μm ,孔隙率约为 0.88%. 图 2(c)表明,3 号涂层致密度与 2 号涂层类似,只是不锈钢成分多一些,二者都比 1 号涂层致密. 3 号涂层厚度为

284 μm ,孔隙率约为 0.51%. 图 2(d)表明,4 号涂层厚度为 198 μm ,孔隙率约为 0.89%. 比 1 号涂层致密,与 2 号和 3 号涂层致密度相近,涂

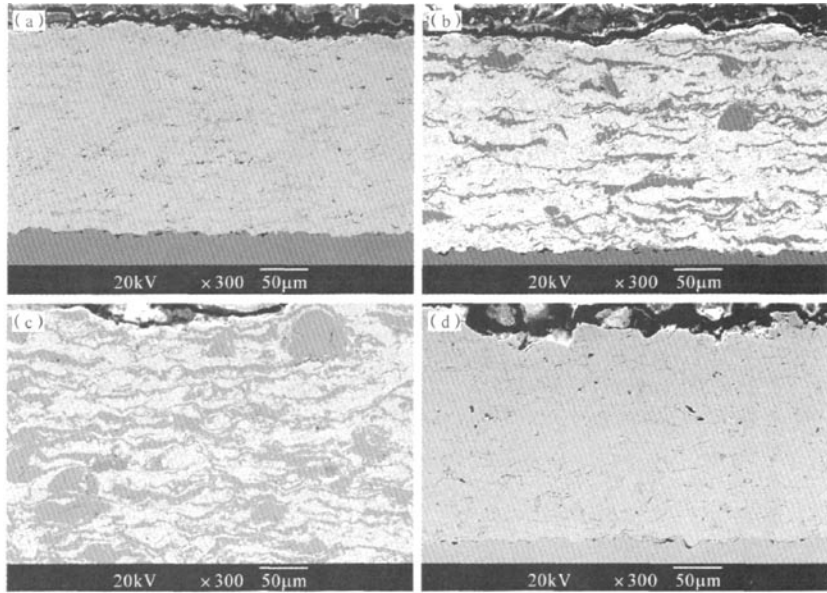


图 2 涂层的显微形貌
(a)1 号涂层; (b)2 号涂层; (c)3 号涂层; (d)4 号涂层

Fig.2 Microstructure of coatings

2.3 涂层硬度与耐磨性

2.3.1 涂层的显微硬度

表 3 列出了 4 种涂层的显微硬度和平均硬度. 由表 3 可看出,1 号涂层的显微硬度最高,平均值为 HV1170;4 号涂层的显微硬度最低,平均值约为 HV726. 加入 SHS7170 的 2 号和 3 号涂层的显微硬度相对 1 号涂层硬度降低了 HV100~150.

2.3.2 涂层的耐磨性

图 3 为磨损实验结果. 由图 3 可知,1~3 号涂层的磨损量相差不大,4 号涂层的耐磨性最差,其磨损量是其他三种涂层的 5 倍以上. 加入 15% SHS7170 的 2 号涂层磨损量最低,1 号涂层次之,3 号涂层的磨损量比 1 号涂层有所增加. 由此可知,加入少量的 SHS7170,涂层的耐磨性并不会降低;当 SHS7170 纳米不锈钢粉末添加量增加到 35%时,涂层(3 号涂层)的耐磨性有所降低但降低不多.

表 3 涂层的显微硬度
Table 3 Micro-hardness of coatings

涂层	检测值(HV _{0.05,15})	平均值(HV)
1 号	1273,1201,1093,1423,1103,1339,1338,925,880,1134	1170.9
2 号	1008,925,1026,1035,1156,1260,933,1026,1103,1201	1067.3
3 号	965,1073,873,1189,1063,1026,1103,1008,780,1174	1025.4
4 号	682,713,707,887,609,780,723,692,745,718	725.6

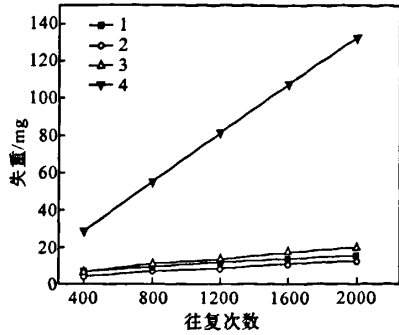


图 3 涂层磨损实验曲线
Fig.3 Wear curves of coatings

图 4 为磨损实验后样品的表面形貌。由图 4 可知,1 号涂层表面经磨损后形成了非常浅的犁沟,以及由于局部涂层剥落而形成的凹坑;2 号涂层经磨损实验后的表面形貌与 1 号相似,磨损犁沟非常浅,只是多了颜色较深的相(即加入的纳米不锈钢粉末);3 号涂层经磨损实验后的表面形貌与 2 号涂层相似,只是颜色较深的相(加入的 SHS7170 成分)更多;4 号涂层经磨损实验后表面形成了大量的犁沟,而且犁沟的宽度和深度明显要比 1~3 号涂层大。这些结果与磨损失重后的结果相符合,说明 4 号涂层的硬度和耐磨性不如 1~3 号涂层。

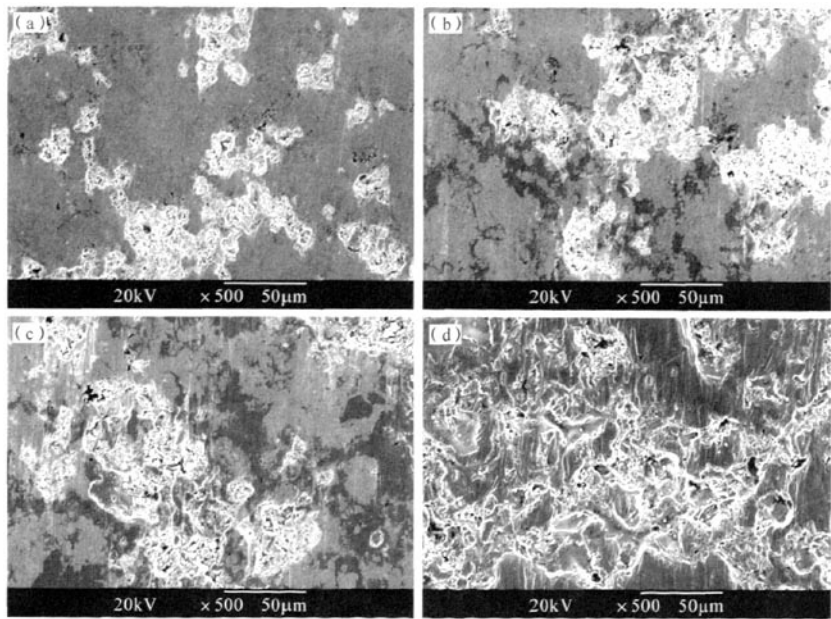


图 4 磨损后涂层表面形貌
(a)1 号涂层;(b)2 号涂层;(c)3 号涂层;(d)4 号涂层
Fig.4 Surface topography of coatings after wear

3 涂层沉积效率和成本

沉积效率、相对沉积效率计算方法如下:
$$\text{沉积效率} = \frac{\text{涂层厚度}}{\text{喷涂遍数} \times \text{送粉率}}$$
$$\text{相对沉积效率} = \text{沉积效率} / 1 \text{ 号粉沉积效率}$$
依此法计算的沉积效率及相对沉积效率列于表

4. 由表 4 可知,沉积相同的涂层厚度时,混合粉末具有优势,特别是 SHS7170 粉末达到 35% 时,沉积效率提高 30%。目前市场价格,进口 WC-10Co4Cr 粉末约为纳米不锈钢粉末价格的 2 倍,由此计算的相对成本(制备同样涂层厚度)列于表 4 中。从表 4 可得出,用 WC-10Co4Cr 和 SHS7170 的混合粉末制备的耐磨涂层可以有效节约涂层沉积时间,降低生产成本。

表 4 涂层的沉积效率和成本
Table 4 Deposition efficiency and cost of coatings

粉末编号	送粉率/(g·min ⁻¹)	喷涂遍数/次	涂层厚度/μm	沉积效率	相对沉积效率	相对成本
1	100	10	208	0.208	1	1
2	70	15	223	0.212	1.02	0.91
3	70	15	284	0.270	1.30	0.63
4	70	7	198	0.404	1.94	0.26

4 结 论

采用 WC-10Co4Cr 和 SHS7170 的混合粉末制备的涂层(2 号、3 号涂层)性能与纯 WC-10Co4Cr 粉末制备的涂层性能相当. 当加入 SHS7170 质量分数为 15% 和 35% 时, 涂层的致密度提高, 硬度降低 HV100~150. 而加入 35% SHS7170 时涂层的耐磨性略有降低, 加入 15% SHS7170 时涂层的耐磨性变化不大. 使用 WC-10Co4Cr 和 SHS7170 混合粉末制备涂层可以减少涂层沉积时间, 降低涂层生产

成本.

参考文献:

[1] Souza V A D, Neville A. Mechanisms and kinetics of WC-Co-Cr high velocity Oxy-fuel thermal spray coating degradation in corrosive environments [J]. Journal of Thermal Spray Technology, 2006, 15(1): 106-117.
[2] 丁坤英, 李娜, 贾鹏. HVOF 技术制备的 WC-Co 涂层的耐磨性[J]. 焊接技术, 2009, 38(2): 12-14.
[3] DAVIS J R. Handbook of thermal spray technology [M]. Ohio: ASM International, 2004: 5.

Study on microstructure and property of a new type wear-resist coating

ZHAO Li^{1,2}, ZHANG Hong¹, HONG Rui-jiang³, SONG Jin-bing², LI Fu-hai², KUANG Min³
(1. Central South University, Changsha 410083, China; 2. Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China; 3. Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract; Four coatings were prepared by means of HVOF process using WC-10Co4Cr powder, SHS7170 nano-crystalline stainless steel powder and their combinations in different proportions as raw materials. And the microstructure, micro-hardness, wear resistance, deposition efficiency and manufacture cost of the four coatings were studied and emphasized in this paper. The results indicated that the density of the coatings could be improved and the micro-hardness dropped about 100—150 when the addition of SHS7170 was 15% and 35% in weight, while their wear resistance reduced very little when the addition was 35% in weight and kept no change when the addition was 15% in weight. The addition of SHS7170 nano-crystalline stainless steel powder to WC-10Co4Cr powder could decrease the deposition time of the coating and application cost.

Key words; WC-10Co4Cr; SHS7170 nano-crystalline stainless steel powder; wear resistance; HVOF