

HVOF 技术制备的 WC 涂层的耐磨性

丁坤英, 李 娜, 贾 鹏

(中国民航大学 理学院, 天津 300300)

摘要: 采用超音速火焰喷涂技术在 45 钢基体上制备 WC-Co 涂层, 利用扫描电镜、X 射线衍射仪、显微硬度计等设备对所获涂层的组织结构与性能进行分析, 并通过磨粒磨损试验研究了 WC 涂层的耐磨性能。试验结果表明: 所获 WC-Co 涂层与基体金属结合良好, 界面处未发现污染, 涂层较为致密, 其显微硬度在 HV1 000 以上; WC-Co 涂层的耐磨性非常优异, 经 20 min 磨损后, 其磨损量仅为 0.1 g 左右; WC-Co 涂层的磨损率一直呈下降趋势, 与之相对比, 电镀硬铬层的磨损率却呈先下降后上升的趋势, 所获 WC-Co 涂层显示了更加稳定的耐磨性。

关键词: 超音速火焰喷涂; WC-Co 涂层; 磨粒磨损; 磨损率

中图分类号: TG174.442 文献标志码: B

超音速火焰喷涂 (HVOF) 技术是上世纪 80 年代研发出的热喷涂方法, 由于其火焰温度低 (约 3 000 °C)、速度高 (约 1 500 m/s), 在喷涂金属、陶瓷粉末过程中能有效地抑制化合物的分解, 利用此技术喷涂的涂层结合强度高、密度大、均匀性好, 已成为制备耐磨涂层的首选方案^[1,2]。

WC-Co 系热喷涂涂层具有较高的硬度和优越的耐磨性, 是应用极为广泛的耐磨涂层之一。在航空航天领域, 利用超音速火焰喷涂技术制备 WC-Co 涂层是研究的热点, 它可以替代耗能高、污染严重的电镀硬铬技术, 以解决航天器某些部件的磨损问题^[3]。本文重点研究不同工艺条件下 WC-Co 涂层的耐磨性

收稿日期: 2008-10-10

基金项目: 中国民航大学校科研基金资助项目 (06kys03)

大量的韧窝存在, 呈明显韧性断裂特征。

参考文献:

- [1] 王少刚, 徐九华, 王 蕾, 等. 氩气保护下炉中钎焊铝基复合材料的可行性[J]. 稀有金属材料与工程, 2005, 34(6): 978-981.
- [2] 林丽华, 唐逸民, 顾明元, 等. 金属基复合材料焊接技术及其发展动向[J]. 材料科学与工程, 1997, 15(3): 23-28.
- [3] 刘春飞. 电子束焊接技术发展历史现状及展望[J]. 航天制造技术, 2003, 21(1): 33-34.
- [4] Wang H M, Chen Y L and Yu L G. In-situ weld-alloying/laser beam welding of 6061Al MMC[J]. Materials Science and Engineering,

能, 探讨涂层微观组织特征对耐磨性能的影响, 并分析磨粒磨损条件下涂层的失效特征, 为该技术在航空航天领域内的推广提供支持。

1 试验材料与方法

试验用粉末为 Praxair 公司生产的 WC-Co 粉末, 成分为 $w(\text{WC})86\%$, $w(\text{Co})10\%$, $w(\text{Cr})4\%$; 基体材料为 45 钢。为进行耐磨性能的比较, 在 45 钢表面进行电镀硬铬处理以制备对比试样。本文涉及到的样品及相关制备工艺参数见表 1。

表 1 样品的组成及制备工艺参数

样品序号	成分	氧气流量/(m ³ ·h ⁻¹)	煤油流量/(cm ³ ·min ⁻¹)	喷涂距离/mm
1 [#]	WC-10Co-4Cr	50	300	310
2 [#]	WC-10Co-4Cr	50	310	260
3 [#]	WC-10Co-4Cr	50	310	310
4 [#]	电镀硬铬	—	—	—

2000, 293A(1): 1-6.

- [5] Lienert T J, Brandon E D and Lippold J C. Laser and electron beam welding of SiCp reinforced aluminum A-356 metal matrix composites[J]. Scripta Metallurgica et Materialia, 1993, 28(11): 1 341-1 346.
- [6] 刘金合. 高能密度焊[M]. 陕西 西安: 西北工业大学出版社, 1995: 49-72.
- [7] 牛济泰, 刘黎明, 武高辉, 等. 亚微米级 Al₂O₃/6061Al 复合材料的扩散焊接[J]. 中国有色金属学报, 1999, 9(3): 476-481.

作者简介: 季小辉 (1984—), 男, 安徽无为人, 硕士研究生, 研究方向: 铝基复合材料的电子束焊接。

喷涂设备为中国民航大学材料工艺技术研究所研制的 JK3400 型超音速火焰喷涂系统, 以航空煤油为燃料, 氧气为助燃气, 氩气为送粉气。利用日本理学 Rigaku 2500/PC 型 X 射线衍射仪进行物相分析, 利用 LEO 公司生产的 1530VP 型场发射扫描电镜进行微观组织观察, 并利用 Axio imager.A 1m 图像分析系统对组织照片进行分析。利用 HVS-1000 型显微硬度仪测量试样的显微硬度, 载荷为 4.9 N, 加载时间为 20 s。按照 ASTMG65—04 标准进行磨粒磨损试验, 基本参数设定为: 磨粒磨损试验机加载力 130 N, 橡胶轮转速 200 r/min, SiO_2 砂粒度 50~70 目, 砂粒流速 300~400 g/min。

2 试验结果与分析

2.1 涂层的微观组织分析

对试样进行显微组织观察 (图 1), 结果表明,

利用超音速火焰 (HVOF) 技术制备的 WC-Co 涂层与基体材料保持着良好的结合, 界面处未见任何分离, 并且也未发现污染物存在。涂层内部组织均匀, 孔洞弥散分布, 平均直径在 10 μm 以下。由于制备过程中采用的工艺不同, 3 种样品的孔隙率有所不同 (表 2), 1[#] 和 2[#] 试样的孔隙率稍大, 分别为 2.09% 和 2.05%; 3[#] 试样的孔隙率相对较小, 为 0.8%。涂层的孔隙率与喷涂射流速度、喷涂距离有着密切的关系。1[#] 与 3[#] 试样的喷涂距离相同, 但是 3[#] 试样制备过程中的煤油流量较大, 相应的射流速度较高, 所以 1[#] 试样的孔隙率高于 3[#] 试样的孔隙率; 同样, 2[#] 与 3[#] 试样的煤油流量一致, 射流速度相等, 但是 2[#] 试样的喷涂距离小于 3[#] 试样的喷涂距离, 所以粒子的加速时间短, 从而造成 2[#] 试样的孔隙率高于 3[#] 试样的孔隙率。

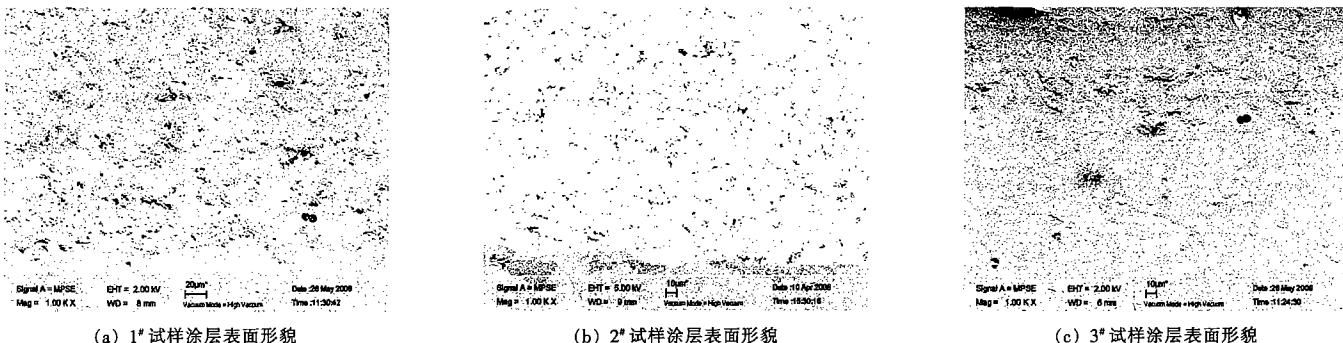


图 1 涂层样品的显微组织

表 2 涂层样品的检测结果

样品序号	硬度 (10 点平均值) $\text{HV}_{0.5}$	孔隙率 (%)	WC 分解率 (%)
1 [#]	902.2	2.09	23.92
2 [#]	1 040.7	2.05	18.69
3 [#]	930.3	0.8	28.18

喷涂的工艺参数还会对涂层的显微硬度产生影响^[4]。表 2 中的结果显示, 2[#] 和 3[#] 试样的显微硬度 ($\text{HV}1\ 040.7$, $\text{HV}930.3$) 高于 1[#] 试样的显微硬度 ($\text{HV}902.2$), 这表明相对较高的煤油流量有利于提高所获涂层的硬度。

在喷涂过程中, WC-Co 受热会发生分解而生成 W_2C , 这一过程会影响到 WC-Co 涂层的性能^[5]。图 2 为 WC-Co 涂层的 XRD 谱线, 标定的结果显示 3 种试样的涂层在制备过程中均有不同程度的分解。1[#] 试样的分解率为 23.92%, 2[#] 试样的分解率为 18.69%,

3[#] 试样的分解率为 28.18%。

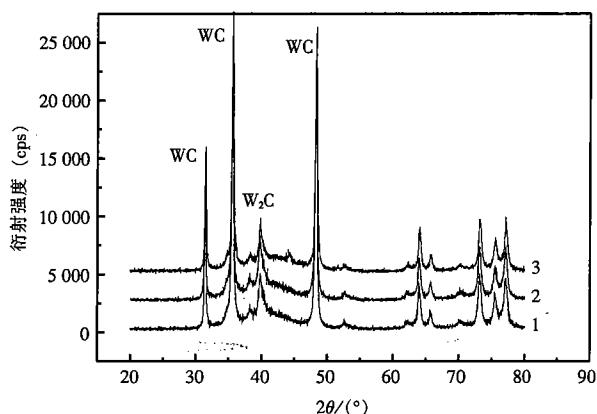


图 2 涂层样品的 XRD 谱线

2.2 涂层的耐磨性分析

对热喷涂和电镀后的试样进行磨粒磨损试验, 试验时间为 20 min, 试验结果如图 3 所示。由图 3

可知, 经过 20 min 磨损后, 1[#]~4[#] 试样涂层的磨损量分别为 0.100, 0.076, 0.096, 0.214 g。WC-Co 涂层的磨损量明显小于电镀硬铬层的磨损量, 而且随着时间的延长, WC-Co 涂层的磨损率是下降的, 而电镀硬铬层的磨损率却出现先减小后增大的趋势。

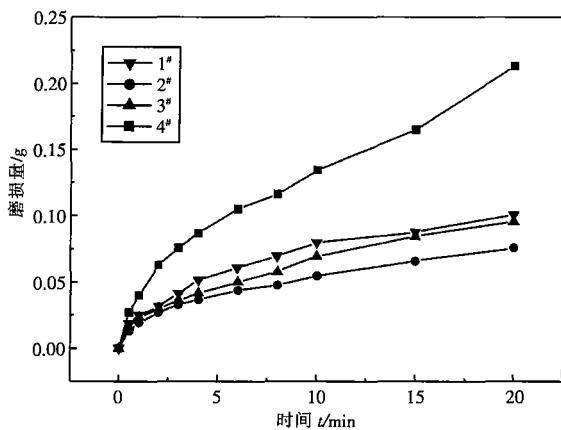


图 3 涂层样品的磨粒磨损试验结果

对磨损后的表面微观形貌进行比较分析, 其结果如图 4 所示。WC-Co 涂层经过磨损后表面形成了非常浅的犁沟, 而电镀硬铬层表面却出现了明显的磨削犁沟。表面磨损情况表明了 WC-Co 涂层的耐磨性要优于电镀硬铬层。

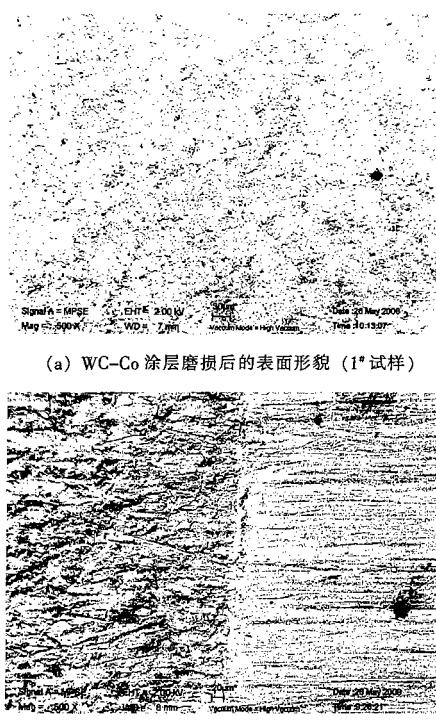


图 4 经过磨损后的样品表面

3 讨论

在干磨损试验条件下, 磨粒磨损可以遵循由 Rabinowie 提出的模型, 即磨粒磨损的磨损量与涂层的硬度成反比。本试验 1[#]~3[#] 样品均通过 HVOF 技术制备而成, 2[#] 样品的硬度最高, 3[#] 样品次之, 1[#] 样品的硬度最低。而样品的磨损量与其硬度趋势一致, 同样是 2[#] 样品磨损量最少, 这一现象表明在干磨粒磨损条件下, WC-Co 涂层的显微硬度对耐磨性能的影响最为显著。4[#] 样品是通过电镀制成, 在磨损的最后阶段, 样品的磨损率有上升的趋势, 经过观察发现可能是由于电镀层的块状脱落引起的。WC-Co 涂层的磨损率有下降的趋势, 显示了其良好的稳定性。涂层磨损率的对比分析结果表明了 WC-Co 涂层的耐磨性优于电镀硬铬层。

4 结论

- (1) 利用超音速火焰喷涂技术 (HVOF) 制备的 WC-Co 涂层与基体材料的结合良好, 涂层比较致密, 孔洞分布均匀, 显微硬度在 HV1 000 以上。
- (2) WC-Co 涂层的耐磨性优于电镀硬铬层, 经 20 min 磨损后, WC-Co 涂层的磨损量仅为电镀硬铬层的磨损量 1/2。
- (3) 在磨粒磨损过程中 WC-Co 涂层的磨损率呈下降趋势, 而电镀硬铬层的磨损率为先下降后上升的趋势。相比之下, WC 涂层显示出其更为稳定的耐磨性。

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] Sidhu T S, Prakash S and Agrawal R D. Studies on the properties of high-velocity oxy-fuel thermal spray coatings for higher temperature applications[J]. Materials Science, 2005, 41(6): 805~823.
- [3] 周克崧. 热喷涂技术替代电镀硬铬的研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(1): 182~191.
- [4] 丁坤英, 韩永梅, 李 娜, 等. 超音速火焰喷涂参数对 WC-Co 涂层性能的影响[J]. 焊接技术, 2007, 36(6): 52~54.
- [5] 李长久. 超音速火焰喷涂 WC-Co 涂层结构的研究[J]. 西安交通大学学报, 1994, 28(4): 9~15.