

超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层的性能研究

杨中元¹, 周建平²

(1.北京有色金属研究总院, 北京 100088; 2.中国人民解放军炮兵学院, 合肥 230031)

摘 要: 采用超音速火焰喷涂工艺制备了 CoCrW 涂层, 测试了涂层的结合强度、硬度、孔隙率和高温抗氧化性能。试验结果表明, 涂层的结合强度在 57 MPa 以上, 硬度为 545 HV_{0.1}, 孔隙率在 2% 以下。涂层的抗氧化性能较好, 涂层在 850 °C 以下或经过较短时间热处理时, 涂层氧化增重较少, 而温度在 850 °C 以上或经过较长时间热处理时, 涂层氧化增重明显。在相同试验条件下与气体爆燃涂层、等离子涂层相比, 用 HVOF 喷涂的涂层其耐磨性能最好。

关键词: CoCrW; HVOF; 结合强度; 孔隙率; 抗氧化性能 耐磨性

中图分类号: TG174.442

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)02-0036-03

Study on the Properties of HVOF Sprayed CoCrW Coating

YANG Zhong-yuan¹, ZHOU Jian-ping²

(1.Beijing general research institute for non-ferrous metals, Beijing 100088; 2.Artillery institute of the Chinese People's Liberation Army)

Abstract: The CoCrW coating was prepared by HVOF spraying in this paper. The bond strength, microhardness, porosity and oxidation resistance of HVOF sprayed CoCrW coating were investigated. The results showed that the bonding strength of HVOF sprayed CoCrW coating is over 57 MPa, the microhardness is up to 545 HV_{0.1}, the porosity ratio is less than 2%. The weight gain by oxidation is unobvious at temperature below 850 °C, whereas, the oxidation of coating becomes obviously increased over 850 °C. A comparison of wear resistance of CoCrW coatings prepared by D-gun spray, plasma spray and HVOF spray was also made at the same experimental conditions. HVOF sprayed CoCrW coating displayed the best wear resistance.

Key words: CoCrW; HVOF; bonding strength; porosity; oxidation resistance; wear resistance

0 引 言

在所有的喷涂技术中, 超音速火焰喷涂(简称 HVOF)无疑是近年来发展较快、专门用于制备耐磨涂层的最有发展前景的热喷涂工艺之一^[1-3]。HVOF 与常规火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂等相比, 由于其涂层结合强度高, 孔隙率小, 涂层热应力小等优势而使其在工业中得到较多的应用^[4], 这种应用尤其在航空工业中较为明显。而且, 由于粒子飞行速度快, 粒子在火焰中飞行的时间短, 其喷涂材料的结构基本保持不变, 致使涂层的相结构变化小, 氧化程度小^[5]。正是如此, HVOF 在喷涂金属陶瓷、合金粉末等方面显示了很好的优越性。

文中主要对优化喷涂工艺后的 HVOF 喷涂 CoCrW 涂层的硬度、结合强度、抗氧化性能和磨

性能等进行了研究。

1 试验条件

1.1 材料和设备

试验中所用的材料是国内市场供应的具有严格粒度分布的 CoCrW 粉末, 表 1 是粉末的化学成分及物理性能。

表 1 CoCrW 粉末的特点、性能

Table 1 Characteristics and properties of CoCrW powder

成分(质量分数)					松装密	流动性/	粒度/
Cr	Ni	W	C	Co	度/ (g/cm ³)	(s/g)	μm
25.75	10.29	7.56	0.84	其余	4.278	13.7/50	20-60

基体材料采用低碳钢矩形试块: 60 mm × 50 mm × 10 mm。

喷涂设备采用 sulzer Metco 公司的 Diamond Jet

收稿日期: 2005-12-26; 修回日期: 2006-03-21

作者简介: 杨中元(1968-), 男(汉), 江苏宜兴人, 高工, 硕士。

超音速系统。

1.2 结合强度、硬度、孔隙率的测量方法

结合强度的测定采用棒状拉伸试样(GB8642-88);硬度采用维氏硬度计测量(GB/T4340.1-1999),载荷 100 g;孔隙率依据 GB/5935-86 测定。

1.3 涂层高温氧化试验和磨损试验

采用合适前处理工艺,把 CoCrW 涂层制备成 6 mm × 15 mm,厚度 0.7 mm 的样品,然后把纯涂层成分的样品放在高温炉中加热升温,通过测定样品的增重从而鉴定涂层的抗氧化性能。磨损试验采用往复式磨损试验机,往复距离是 10.5 mm,摩擦副是金刚石头,顶角 120°,顶部曲率半径 200 μm,磨损时间为 1 h,载荷为 5、10、15 N,往复频率为 50 次/分,试验温度为室温。

2 结果与讨论

2.1 超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层的特性

通过优化的超音速火焰喷涂工艺^[6]制备的 CoCrW涂层的结合强度、硬度等性能测试结果见表 2,表 2 中涂层的结合强度表明CoCrW合金涂层结合强度很高。实际上,在喷涂过程中高速粒子对基体的撞击及高的熔滴温度导致了基体及涂层间原子的互扩散而造成涂层与基体的微冶金结合。这与图 1 中Fe、Co、Cr的元素线扫描分布曲线相一致。这一涂层形成机理不仅使涂层与基体界面的结合强度高,也使CoCrW涂层的内聚强度较高。

表 2 测定的是 5 个样品的硬度值,其平均硬度为 545 HV_{0.1}。

表 2 超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层的特性
Table 2 Coating characteristics of HVOF sprayed CoCrW coating

序号	结合强度/MPa	维氏硬度/HV _{0.1}	孔隙率/%
1	54	536	< 2
2	57	554	< 2
3	60	545	< 2
4	56	535	< 2
5	> 59	554	< 2

优化喷涂工艺后的涂层孔隙率在 2% 以下,这是因为熔融粒子被加速到很高速度,致使撞击粒子释放出很高的动能而形成致密的 CoCrW 涂层。

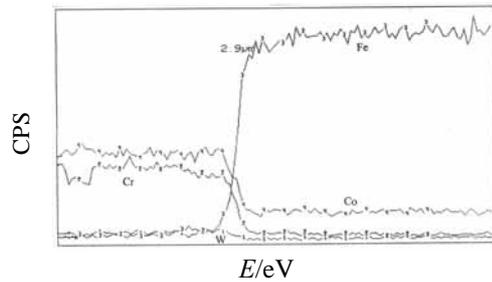


图 1 超音速喷涂 CoCrW 涂层的元素线扫描图
Fig.1 Elements diffusion between HVOF sprayed CoCrW coating and substrate

2.2 涂层抗氧化性能

图 2(a)是 CoCrW 涂层在 800 温度下处理不同时间时单位面积涂层的增重量,随着保温时间的延长,涂层重量增加,氧化加深。图 2(b)是 CoCrW 涂层的样品在不同高温温度下经过 6 h 处理后单位面积涂层的增重量。显然,随着加热温度的提高,单位面积涂层的增重量增加,尤其是温度在 850 以上时涂层增重更为明显,说明涂层经 850 以上温度处理时,涂层氧化更为严重。这可能是由于,

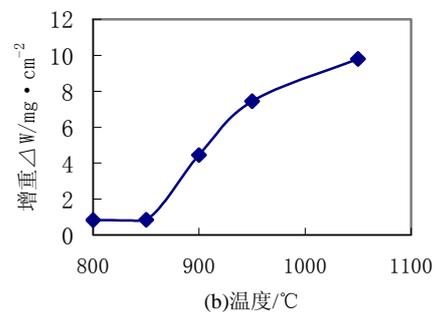
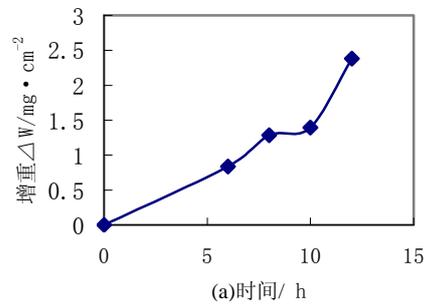


图 2 经不同时间和温度处理后的单位面积涂层的增重量
Fig.2 Weight gain of coating by oxidation per unit area at high temperature

在 850 以下温度处理时,涂层表面的Cr首先与氧结合,形成氧化物,而在相对较短处理时间内Co

则稳定性较高,不易在 850 以下形成氧化物,所以在 850 以下涂层增重不明显;但当热处理时间超过 10 h或温度超过 850 时,CoCrW涂层的氧化物主要是 Cr_2O_3 ,另有一些 Co_3O_4 。这是因为当温度在 850 以上时,Co较为活跃,有利于加快Co原子与O原子之间的结合。而且,外层O原子加快了向CoCrW涂层内部扩散的速度,从而在涂层内部形成如 Cr_2O_3 和 Co_3O_4 这样的氧化物,因而涂层增重较快。图3是CoCrW涂层在 850 氧化后的X射线衍射图。图3显示,涂层中除了有固溶体(Co)外,还有 Co_3O_4 和 Cr_2O_3 。可见,尽管CoCrW涂层可以在较高温度下工作,但其工作温度应该在 850 以下。

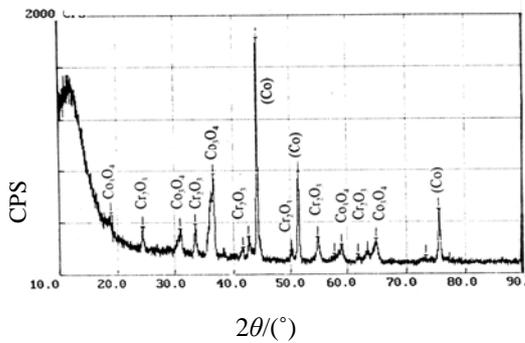


图3 CoCrW涂层 850 氧化后的X射线衍射图

Fig.3 XRD pattern diffractogram of HVOF sprayed CoCrW coating after oxidizing at 850

2.2 涂层磨损性能

为了有效反映超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层的磨损性能,特通过与气体爆燃喷涂工艺和等离子喷涂工艺制备的 CoCrW 涂层样品磨损结果相对比,其测试结果如表3所示。从表中可以看出,在3种不同载荷情况下,超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层的磨损率均最低,其耐磨性能比气体爆燃喷涂和等离子喷涂好。这可能是因为不同喷涂工艺制备的涂层其致密度、颗粒熔化程度及相组成有所差异所造成的。

3 结论

(1) 超音速火焰喷涂CoCrW涂层的结合强度较高,平均达到 57 MPa以上,硬度为 545 $\text{HV}_{0.1}$,孔隙率在 2% 以下。

(2) 涂层的抗氧化性能较好,涂层在 850 以下或经过较短时间热处理时,涂层氧化增重较少,而温度在 850 以上或经过较长时间热处理时,涂层氧化增重明显。

(3) 涂层的室温耐磨性能表明,在3种不同载荷下与气体爆燃喷涂、等离子喷涂相比,HVOF超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层的耐磨性最好。

表3 室温下磨损试验结果

Table 3 Wear of CoCrW coating prepared by different spraying methods(room temperature)

载荷/ N	气体爆燃喷 涂层磨损率/ ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)	HVOF超音 速喷涂层磨 损率/ ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)	等离子涂层 磨损率/ ($\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$)
5	13.4×10^{-8}	0.80×10^{-8}	1.74×10^{-8}
10	12.5×10^{-8}	1.84×10^{-8}	2.43×10^{-8}
15	21.6×10^{-8}	2.11×10^{-8}	5.76×10^{-8}

参考文献:

- [1] Schwetzke R. Suitable and standardized evaluation and testing methods for the characterization of coating [C]. 4th Conference on HVOF Spraying, Erding Germany, 1997,13/14.
- [2] Jacobs L, Hyland M, De Bonte M. Wear Behavior of HVOF and HVAF Sprayed WC-Cermet Coatings [C]. Proceedings of the 15th International Thermal Spray Conference, France, 1998, 169.
- [3] Arsenault B, Immarigeon J P, Parameswaran V R, et al. Slurry and Dry Erosion of HVOF Thermal Sprayed Coatings [C]. Proceedings of the 15th International Thermal Spray Conference, France, 1998:231.
- [4] Beczkowiak J, Fischer J, Keller H. Advanced Carbides and Borides for Wear Resistant Coatings-Powder and Coating Properties [C]. Proceedings of ITSC'95, Japan, 1995:1053.
- [5] Dvorak M, Browning J A. Extending the Limits of HVOF [M]. in Thermal Spraying-current Status and Trends, High Temperature Society of Japan, Osaka, Japan, 1995:405-409.
- [6] 杨中元. 气体流量对超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层颗粒熔化程度的影响 [J]. 中国表面工程, 2005,18(3): 28-30.

作者地址:北京市新街口外大街2号 100088

Tel:(010)82241259 手机:13910084360

E-mail:yzyspray@yahoo.com.cn