

气体流量对超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层颗粒熔化程度的影响

杨中元

(北京有色金属研究总院, 北京 100088)

摘 要: 探讨了超音速火焰喷涂(HVOF)过程中 C_3H_8 、 O_2 和压缩空气流量对CoCrW涂层颗粒熔化程度的影响, 结果表明: O_2 流量对涂层颗粒的熔化程度影响最大, 其次是 C_3H_8 , 压缩空气流量的影响最小: 气体流量优化后超音速火焰喷涂CoCrW涂层的结合强度达到 54 MPa以上, 孔隙率低于 2 %。

关键词: CoCrW; 流量; HVOF; 结合强度

中图分类号: TG174.442

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2005)03-0028-03

Effects of Gas Flow Rates on Melting of Particles of HVOF Sprayed CoCrW Coating

YANG Zhong-yuan

(General Research Institute For Non-ferrous Metals, Beijing 100088)

Abstract: This paper discussed the effects of flow rate of O_2 , C_3H_8 and compressed air on the degree of melting of particles of HVOF sprayed CoCrW coating. O_2 flow rate showed the maximal effect on melting of particles, the second was C_3H_8 and the compressed air had minimal effect. The bonding strength of HVOF sprayed CoCrW coating was over 54 MPa. The porosity ratio of HVOF sprayed CoCrW coating using the optimized gas flow rate was less than 2 %.

Key words: CoCrW; flow rate; HVOF; bond strength

0 引 言

在所有的喷涂技术中, 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, 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]。事实上, HVOF喷涂层的性能和微结构主要取决于喷涂过程中粒子的温度及撞击到基体表面的速度, 而这些因素又完全取决于诸如燃气、氧气及压缩空气流量等工艺条件。

文中研究了气体流量对HVOF喷涂CoCrW粉末熔化程度的影响, 并且测定了优化工艺后涂层的性能。

1 试验条件

1.1 材料和设备

收稿日期: 2004-12-21; 修回日期: 2005-03-17

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

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 powders

成分(质量分数)					松装密度/ (g/cm ³)	流动性/(s/g)	粒度/ μm
Cr	Ni	W	C	Co			
25.75	10.29	7.56	0.84	余	4.278	0.274	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 超音速系统。

1.2 结合强度及硬度的测量方法

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。

1.3 喷涂参数

喷涂前先对试样除油、喷砂。依据初步分析, 采用正交试验的方法对气体流量进行正交化设计^[6],

正交化流量的设计范围分别为： C_3H_8 ，34 ~ 44 L/min(试验中流量分别采用 34、38、42、44 L/min)， O_2 ：40 ~ 47 L/min (试验中分别为 40、43、45、47 L/min)，压缩空气为 44 ~ 54 L/min (试验数据分别为 44，47，51，54 L/min)。流量的优化属于“三因素四水平”问题。根据颗粒熔化程度把熔化等级分别定义为 ~ (表 2)。数字越大，熔化等级越高。

表 2 正交化流量设计及试验结果

Table 2 Orthogonal design of flow rates and experimental results

序号	流量/(L/min)			熔化等级(未熔颗粒面积比例)
	O_2	C_3H_8	压缩空气	
1	40(A ₁)	34(B ₁)	44(C ₁)	(74%)
2	40(A ₁)	38(B ₂)	47(C ₂)	(31%)
3	40(A ₁)	42(B ₃)	51(C ₃)	(31%)
4	40(A ₁)	44(B ₄)	54(C ₄)	(12%)
5	43(A ₂)	34(B ₁)	47(C ₂)	(31%)
6	43(A ₂)	38(B ₂)	44(C ₁)	(31%)
7	43(A ₂)	42(B ₃)	54(C ₄)	(8%)
8	43(A ₂)	44(B ₄)	51(C ₃)	(31%)
9	45(A ₃)	34(B ₁)	51(C ₃)	(74%)
10	45(A ₃)	38(B ₂)	54(C ₄)	(12%)
11	45(A ₃)	42(B ₃)	44(C ₁)	(4%)
12	45(A ₃)	44(B ₄)	47(C ₂)	(0.8%)
13	47(A ₄)	34(B ₁)	54(C ₄)	(8%)
14	47(A ₄)	38(B ₂)	51(C ₃)	(4%)
15	47(A ₄)	42(B ₃)	47(C ₂)	(4%)
16	47(A ₄)	44(B ₄)	44(C ₁)	(0.8%)

喷涂过程中喷涂距离保持在 200 ± 30 mm，空气压力为 517 Pa(75 psi)， O_2 压力 1 034 Pa(150 psi)， C_3H_8 压力为 586 Pa(85 psi)。

2 结果与讨论

2.1 气体流量对颗粒熔化程度的影响

图 1 显示出表 2 所列不同流量 C_3H_8 、 O_2 及压缩空气下HVOF喷涂CoCrW涂层颗粒熔化等级的金相组织。图 1(a)到图 1(f)未熔颗粒所占比例(面积百分数) 分别为 74 %、31 %、12 %、8 %、4 %及 0.8 %。

图 2 表明颗粒的熔化程度随着 O_2 及 C_3H_8 流量的增加而增加，尤其是随 O_2 流量增加较为明显，随压缩空气流量变化较小。也就是气体流量对颗粒熔化程度的影响中 O_2 影响最大， C_3H_8 次之，压缩空气影响最小。因此，在HVOF喷涂CoCrW过程中应该严格控制 O_2 流量，以确保颗粒的充分熔化。图 2 也表明了气体流量的优化组合： O_2 为 47(A₄)， C_3H_8 为 44(B₄)，压缩空气为 47(C₂)。采用优化的气体流量超音速火焰喷涂CoCrW涂层的颗粒熔化情况见图 1(g)。显然，涂层中颗粒的熔化很充分。

事实上，除上述因素外，涂层颗粒的熔化程度还与送粉量、喷涂距离等有关。但在工艺控制中对于既定的喷涂材料，喷涂过程中送粉量和喷涂距离不会随意改变。

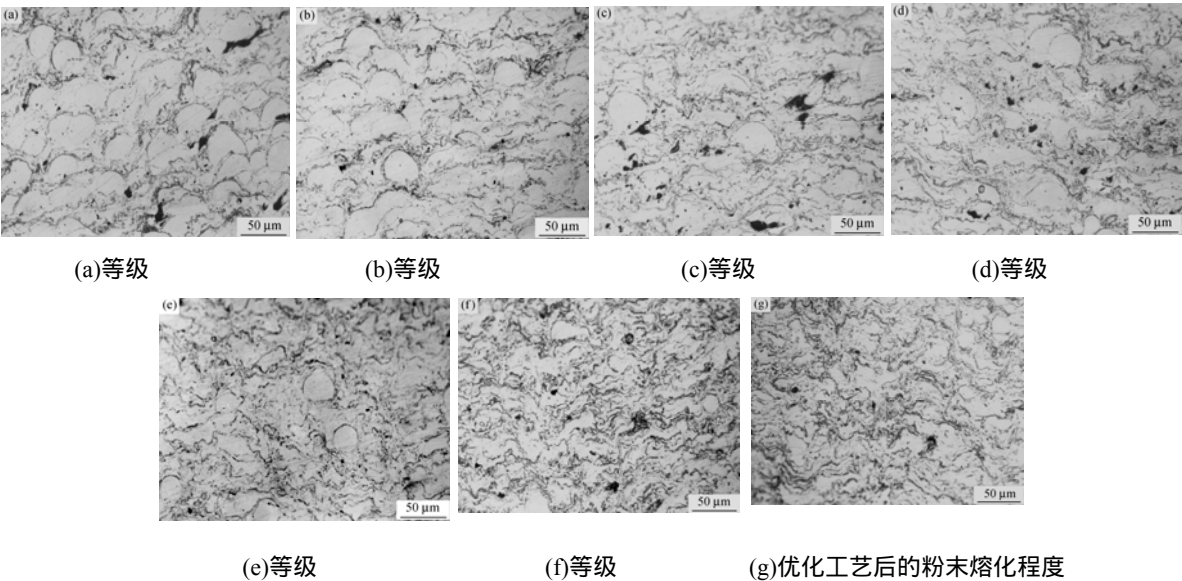


图 1 HVOF 喷涂 CoCrW 涂层颗粒熔化等级的金相组织

Fig.1 Optical metallograph of the melting grades of particles of HVOF sprayed CoCrW coating

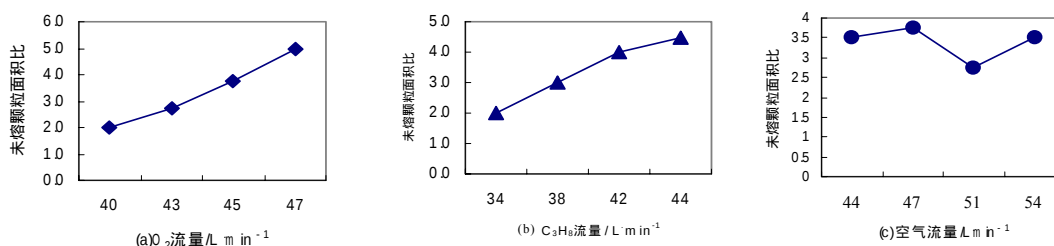


图2 气体流量和颗粒熔化程度的关系

Fig.2 Relationship between the degree of melting of particles and gas flow rates

2.2 涂层性能

表3 超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层的性能

Table3 The 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 %

工艺优化后,涂层硬度、结合强度及孔隙率(按 JB/T7509-94)的测试结果见表 3。表 3 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相互扩散而造成涂层与基体的微冶金结合。这导致涂层与基体界面高的结合强度,也使 CoCrW 涂层的内聚强度较高。

表 3 测定的是 5 个样品的硬度值,其平均硬度为 $545 HV_{0.1}$ 。

优化喷涂工艺后涂层的孔隙率在 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。

3 结 论

(1) O_2 、 C_3H_8 和压缩空气的流量对颗粒熔化程度产生不同程度的影响,颗粒的熔化程度随着 O_2 、 C_3H_8 流量的增加而增加,特别是随着 O_2 流量的增加更加明显,而受压缩空气的流量影响较小。

(2) O_2 流量为 47(A_4), C_3H_8 流量为 44(B_4), 压缩

空气流量为 47(C_2)时,颗粒熔化很充分。

(3) 超音速火焰喷涂 CoCrW 涂层优化工艺后的结合强度超过 54 MPa,孔隙率在 2 % 以下。涂层的平均硬度达到 $545 HV_{0.1}$ 。

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, Nov. 13/14, 1997.
- [2] Jacobs L, Hyland M, De Bonte M. Wear behavior of HVOF and HVOF sprayed WC-cermet coatings [C]. Proceedings of the 15th International Thermal Spray Conference, France, 169, 1998.
- [3] Arsenault B, Immariageon 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, 231, 1998.
- [4] Beczkowiak J, Fischer J, Keller H, et al. Advanced carbides and borides for wear resistant coatings-powder and coating properties [C]. Proceedings of ITSC'95, Japan, 1053.
- [5] Dvorak M, Browning J A. Extending the limits of HVOF in thermal spraying-current status and trends [M]. High Temperature Society of Japan, Osaka, Japan, 405-409, 1995.
- [6] Glen S P. Taguchi Methods, Addison-Wesley Publishing Company [M]. INC. 1993.

作者地址: 北京新街口外大街 2 号 100088

北京有色金属研究院 有形粉末 Tel: (010) 82241259

E-mail: zy0980-cn@sina.com