

文章编号: 1673-9981(2007)01-0047-04

# APS喷涂 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 涂层的工程化应用研究

李福海, 刘敏, 朱晖朝, 王枫

(广州有色金属研究院, 广东 广州 510651)

**摘要:** 从工程化应用的角度出发, 研究了 APS 喷涂 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷涂层的工艺参数对涂层性能的影响。研究表明, 粉末粒度分布、电弧电流和喷涂距离是影响涂层性能的关键因素, 其他辅助条件, 如抽风效果, 也是获得良好结构涂层不可忽视的关键因素。所制备的性能稳定、均匀的耐磨涂层可满足激光雕刻的要求。

**关键词:** APS; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 涂层; 陶瓷涂层网纹辊

**中图分类号:** TG174.442

**文献标识码:** A

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷的化学稳定性极好、摩擦系数小, 且具有硬度高、耐磨、耐腐蚀特性<sup>[1]</sup>。用等离子喷涂的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷涂层能较大程度地保持整体陶瓷的特性, 其显微硬度 Hv 约 1000<sup>[2]</sup>, 有时可接近 1500<sup>[3-4]</sup>。在金属表面制作 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷涂层, 能够结合基体金属的韧性, 形成优异的复合涂层, 克服了陶瓷的脆性, 被广泛应用于能源、交通、冶金、轻纺、石化、机械、轻工(包装印刷)等工业领域<sup>[5-6]</sup>。

等离子喷涂技术经过四十多年的发展, 已形成比较成熟和广泛应用的工艺。目前, 研究的重点主要是在喷涂的气体参数(主气压力和流量、次气压力和流量、送粉气压力和流量)、功率参数(电弧电压和电流)及辅助工艺参数(喷涂距离、相对喷涂速度等)等工艺参数中, 寻找最佳参数, 获得性能更优的涂层。在这些研究中, 人们关注的是粉末特性、电弧功率、气体流量、喷涂距离和送粉速率等主要参数对涂层性能的影响<sup>[4-5]</sup>, 而忽视了其他辅助工艺参数对涂层性能的影响。在实际生产过程中发现, 辅助工艺参数对涂层性能的影响不亚于主要参数的影响。所以在实际生产中必须同时兼顾喷涂的“主要参数”和“辅助工艺参数”, 才能制作出质量稳定、性能优良的产品。

## 1 实验及方法

### 1.1 粉末材料

选用三种商用氧化铬粉末作为喷涂粉末, 其基本参数和粒度分布分别列于表 1 和表 2, 粉末形貌见图 1。由表 1 和表 2 可知, 三种粉的氧化铬含量基本相同, 粒度分布相近, 但 3 号粉中的细粉较多, -20 μm 的粒级占有率超过 50%。

表 1 氧化铬粉末的基本参数  
Table 1 Characters of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders

粉末编号	w(Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/%	粒度范围/μm	平均粒度/μm
1	≥99.7%	15~45	24.49
2	≥99.3%	15~40	24.12
3	≥99.0%	15~45	19.7

表 2 氧化铬粉末的粒度分布  
Table 2 Grain distribution of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders

粒级/μm	占有率 w/%		
	1 号粉	2 号粉	3 号粉
-50+40	6.6	5.5	10.3
-40+30	17.3	18.0	4.2
-30+20	47.3	38.6	34.1
-20+10	23.7	35.0	44.1
-10	5.1	2.9	7.3

收稿日期: 2006-08-10

作者简介: 李福海(1973-), 男, 陕西渭南人, 工程师, 硕士。

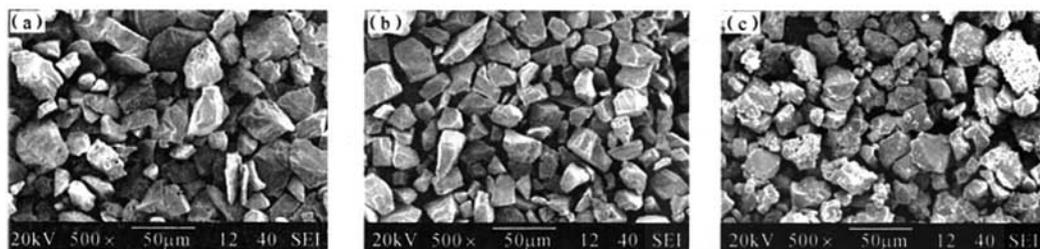


图1 氧化铬粉末形貌

(a)1号粉末;(b)2号粉末;(c)3号粉末

Fig. 1 SEM of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  powders

## 1.2 实验方案

采用德国产 MF-P-1500 型高功率等离子喷涂系统,配套 F6 常压喷枪. 粘结底层材料全部选用 Ni 基合金粉末,底层厚度 0.05 mm,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  涂层厚度 0.30 mm,喷涂前全部试样经打砂粗化预处理,喷涂工艺参数列于表 3.

表 3 喷涂工艺参数

Table 3 List of spray parameters

喷涂电流	喷涂距离	送粉速率	$\varphi(\text{H}_2)$	相对喷涂速度
600A	100 mm	50 g/min	4%~10%	30~50 m/min

使用 JSM 公司的 JSM-5910 扫描电镜、Leica 公司的 DMIRM 型金相显微镜和显微硬度计分析涂层的微观结构与性能. 试样基材为 50 mm×20 mm×5 mm 的 A3 钢,喷涂后观察其横截面形貌并测试其微观硬度;将直径 200 mm、长 1000 mm 的空心辊经磨床磨削加工和金刚石带式抛光机精密抛光处理

后,观察涂层表面形貌特征,测试其表面粗糙度,评价涂层的质量;磨损试验的试样基材为 50 mm×70 mm×5 mm 的 A3 钢,喷涂后用磨损试验机测试其磨损率,用磨损率来评价涂层的磨损性能. 本文中磨损率是将电镀镀铬层的磨损性定为 1.0 作对照. 涂层的结合强度采用对偶试样拉伸法测量.

## 2 实验结果及分析

### 2.1 喷涂粉末的选择

三种氧化铬涂层的组织见图 2,涂层的表面粗糙度、硬度和磨损率见表 4. 由图 2 和表 4 可知,三种氧化铬涂层的组织和性能相近,都可应用于研究和生产中,但由于 3 号粉末中的细粉较多,喷涂时会产生较多的浮尘,所以必须加强抽风,才能获得性能较好的涂层. 由于 1 号粉末的粒度分布更符合高斯分布特征、沉积效率高及工艺性好,所以选择 1 号粉进行其余的实验.

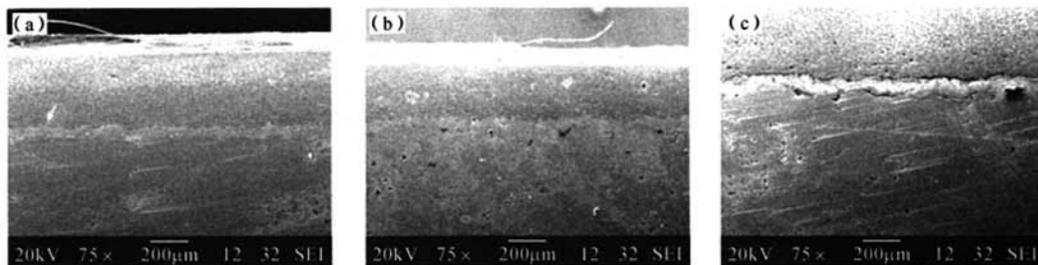


图 2 涂层的断面构造形貌

(a)1号粉末;(b)2号粉末;(c)3号粉末

Fig. 2 Cross sectional SEM of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  coatings

表 4 三种粉末的涂层性能

Table 4 Properties of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings

粉末 编号	涂层表面粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$		硬度 (HR <sub>15N</sub> )	磨损率	结合强度 /MPa
	加工前	加工后			
1	3.1	0.08	92.5	0.78	23
2	3.1	0.07	92.5	0.76	25
3	3.0	0.11	91.7	0.79	22

### 2.2 喷涂工艺参数对涂层性能的影响

喷距和电弧电流对涂层性能的影响分别列于表 5 和表 6。由表 5 和表 6 可知,当喷涂电流为 700A、喷涂距离为 110mm 时,涂层的质量和结合强度较高。

表 5 喷距对涂层性能的影响

Table 5 Effect of spray distance on the properties of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings

喷距 /mm	涂层表面粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$		硬度 (HR <sub>15N</sub> )	磨损率	结合强度 /MPa
	加工前	加工后			
90	3.1	0.15	93.7	0.706	13
110	3.1	0.08	92.5	0.756	29
130	3.3	0.12	90.6	0.958	25

表 6 不同喷涂功率(电流)对涂层性能的影响

Table 6 Effect of spray power/arc current on the properties of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings

电流 /A	涂层表面粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$		硬度 (HR <sub>15N</sub> )	磨损率	结合强度 /MPa
	加工前	加工后			
500	3.3	0.18	90.0	2.16	25.0
600	3.2	0.11	91.5	0.87	25.5
700	3.1	0.08	92.8	0.75	25.3

### 2.3 粉尘对涂层质量的影响

试验中发现,喷涂过程中的浮尘和粉尘对涂层的性能影响很大。喷涂过程中所产生的粉尘,如果不能被及时排走,就会沉积在涂层中,影响涂层的质量。本试验采用自行研制的移动式抽风装置和压缩空气同时进行抽风和吹风除尘。

在优化的喷涂参数下,作了除尘单因素实验,不除尘和除尘喷涂涂层的表面形貌如图 3 所示,截面形貌如图 4 所示,性能参数列于表 7。由图 3、图 4 和表 7 可见,除尘对提高涂层性能的效果非常明显。其原因是,在喷涂过程中,细小的氧化铬粉末和未送入

等离子火焰中心的粉末沉积在涂层中,形成了空洞和夹生(未融)颗粒,这些空洞和颗粒导致涂层与辊面的结合不好,而排走这些微尘后,可给后继形成的涂层提供优良的结合表面,增加了结合力和结合面积,降低了产生空洞和夹生粉的几率,提高了涂层的性能。

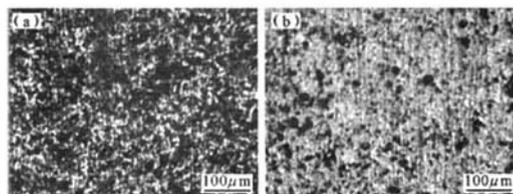


图 3 涂层表面形貌,100 $\times$

(a) 不除尘;(b) 除尘

Fig. 3 Surface optical microscopy images of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings

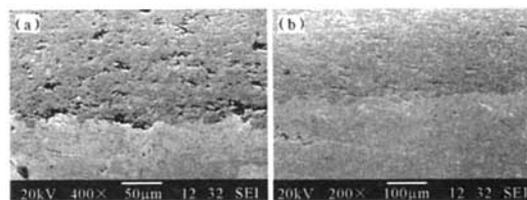


图 4 涂层截面金相照片

(a) 不除尘,400 $\times$ ;(b) 除尘,200 $\times$

Fig. 4 Cross sectional SEM images of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings

表 7 粉尘对涂层性能的影响

Table 7 Effect of dust on the properties of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings

	涂层表面粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$		硬度 (HR <sub>15N</sub> )	磨损率	结合强度 /MPa
	加工前	加工后			
不除尘	3.1	0.30	91.9	1.968	20.5
除尘	3.1	0.09	92.5	0.75	24.3

### 2.4 陶瓷涂层在网纹辊上的应用

本研究所获得的高质量氧化铬陶瓷涂层已成功应用于柔版印刷机的传墨辊、辊式机涂布辊、上光上胶辊等,能够满足激光雕刻对涂层的要求,可雕刻出 100~1000LPI 的陶瓷网纹辊,网孔图案如图 5 所示。激光雕刻 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 陶瓷涂层网纹辊的使用寿命是电镀硬铬机械雕刻陶瓷网纹辊的 3~5 倍。这种网纹辊已经在珠三角、长三角地区和北方各地的许多印刷机械厂和印刷包装企业得到广泛应用。

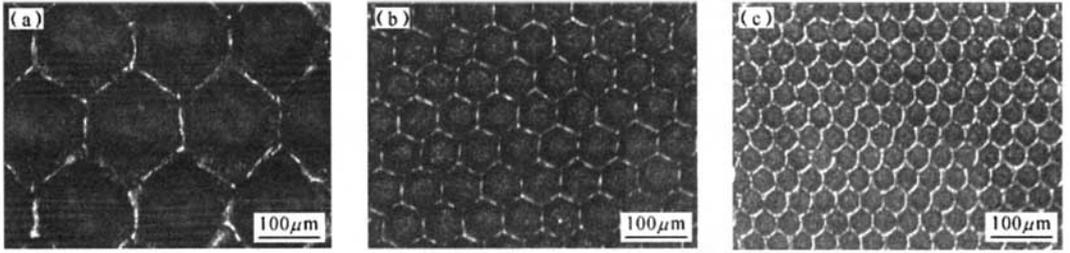


图5 网纹辊的网孔

(a) 200 LPI; (b) 500 LPI; (c) 800 LPI

Fig. 5 Optical microscopy of cells of anilox roll

### 3 结论

三种商用氧化铬粉末都能满足工程化应用的要求;当喷涂电弧电流 700 A、喷距 110 mm 时,得到的涂层性能较优;喷涂过程中必须有良好的抽风和吹风除尘,才能保证涂层的质量;实际应用表明,本研究所制备的陶瓷涂层的性能可满足激光雕刻的要求。

#### 参考文献:

[1] SAMSONOV G V. The Oxide Handbook[M]. 2nd ed. New York: IFI/Plenum, 1982: 192-195.

[2] 高荣发. 热喷涂[M]. 北京:化学工业出版社,1992: 249-250.

[3] 任靖日,金石山.  $Al_2O_3$ -40%  $TiO_2$  和  $Cr_2O_3$  等离子喷涂涂层的摩擦磨损特性[J]. 摩擦学报,2000,20:18-22.

[4] 李剑峰,黄静琪,季珩,等. 等离子喷涂  $Cr_2O_3$  涂层显微硬度的工艺优化[J]. 硅酸盐学报,2001,29(1): 49-53.

[5] 邓世均. 高性能陶瓷涂层[M]. 北京:化学工业出版社,2003: 138-139.

[6] WINKLER R. 316L-an alternative to NiCr bondcoats for  $Cr_2O_3$ -coatings on anilox rolls[C]//Thermal Spray: Advancing the Science & Applying the Technology. Ohio: ASM Park,2003: 149-152.

## Study and application of the APS sprayed $Cr_2O_3$ coatings

LI Fu-hai, LIU Min, ZHU Hui-chao, WANG Feng

(Guangzhou Research Institute of Nonferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

**Abstract:** From the point view of application in industry, the factors of APS sprayed  $Cr_2O_3$  coatings were studied. The results showed that the powder size distribution, the arc current, and the spray distance has significant influence on the fabrication, micro-hardness, and wear-resistance characters of the  $Cr_2O_3$  coatings. Furthermore, in this study the blowing and extraction effects of compressed air were found dominate function on the invested characters. The coating product has applied widely on the anilox product in printing and packaging industry.

**Key words:** APS;  $Cr_2O_3$  coating; ceramic coated anilox roll