

文章编号:1673-9981(2008)03-0187-04

三阳极大气等离子喷涂 Cr_2O_3 涂层的研究

邓伟东¹, 刘 敏¹, 陈雄伟^{1,2}, 邓春明¹

(1. 广州有色金属研究院, 广东 广州 510650; 2. 中南大学材料科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要:采用 SEM 及 XRD 方法对用三阳极等离子喷枪所制备的 Cr_2O_3 涂层的结构、相及基本的性能进行了表征, 并与传统等离子喷涂所制备的 Cr_2O_3 涂层进行对比。结果表明, 在显微结构和硬度方面三阳极等离子喷涂所制备的 Cr_2O_3 涂层与传统等离子喷涂所制备的相近, 但结合强度比传统等离子喷涂的高 48%。

关键词:三阳极等离子喷涂; 传统等离子喷涂; Cr_2O_3 涂层

中图分类号: TB742

文献标识码: A

大气等离子喷涂是以非转移的等离子弧为热源, 喷涂材料以粉末的形式送入焰流中心而获得涂层的一种方法^[1]。等离子体热源温度高达 1×10^4 K, 在材料不分解或直接升华的前提下可熔融任何一种材料, 并可在基体上快速地沉积形成涂层。因此, 大气等离子喷涂广泛用于制备氧化物陶瓷涂层。目前, 常用的大气等离子喷枪有单阴阳极喷枪和三阴极喷枪。在使用过程中, 单阴阳极喷枪的喷嘴及阴极会因过热而烧损^[2-3], 并且该喷枪的噪音较大, 生产安全性较低。针对单阴阳极喷枪存在的问题, 对三阴极等离子喷枪进行了改进, 但该枪带来新的问题, 如何确定阳极组件的最佳位置, 且三阴极喷枪会因二弧相并而导致设备烧损^[4-5]。

由于三阴极喷枪存在上述缺点, 德国 GTV 公司开发出了三阳极等离子喷枪 (GTV Delta)。三阳极等离子喷枪与三阴极等离子喷枪相比, 弧更加稳定、不会出现并弧现象及弧不易受粉末材料的影响; 三阳极等离子喷涂采用枪外三对称径向送粉, 在高速焰流所产生的负压吸力作用下, 可保证粉末充分送入焰流中心, 确保粉末被充分加热, 以保证涂层的质量; 三阳极喷枪安装拆卸简单、效率高。

本文用三阳极等离子喷枪制备 Cr_2O_3 涂层, 同时对 Cr_2O_3 涂层的显微结构和基本性能进行表征,

并与传统等离子喷枪 (F6 单阴阳极等离子喷枪) 所制备涂层的性能进行了对比。

1 实 验

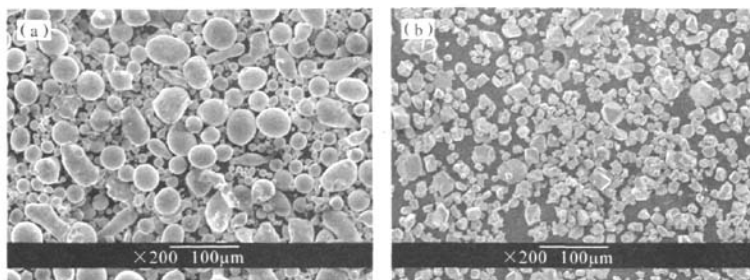
1.1 实验材料及设备

基体材料为 45 号钢; 等离子喷涂涂层的粘结层材料为北京矿冶研究院生产的 316L 不锈钢粉, 粒径为 $15 \sim 45 \mu\text{m}$; 涂层材料为 H. C. Starck 公司生产的 Cr_2O_3 粉, 粒径为 $10 \sim 45 \mu\text{m}$ 。316L 不锈钢粉和 Cr_2O_3 粉末的形貌见图 1。喷涂前对试样进行喷砂预处理, 在试样表面喷涂 316L 粘结层后再喷涂 Cr_2O_3 涂层, 粘接层厚度为 $100 \mu\text{m}$, 涂层总厚度约为 $350 \mu\text{m}$ 。

分别用配有 F6 单阴阳极喷枪的 MF-P-1500 型高能等离子喷涂设备和用德国产的 GTV Delta 喷枪制备涂层; 用 MH-5D 型硬度计测量涂层的维氏硬度, 其中加载压力为 300 g, 加载时间为 15 s, 测量 10 个点, 取平均值; 按照 ASTM C633-79 标准测试涂层与基体的结合强度; 用 JEOL JSM-5910 型扫描电镜观察涂层表面及剖面的微观形貌。

收稿日期: 2008-07-11

作者简介: 邓伟东 (1958—), 男, 广西玉林人, 高级工程师, 学士。

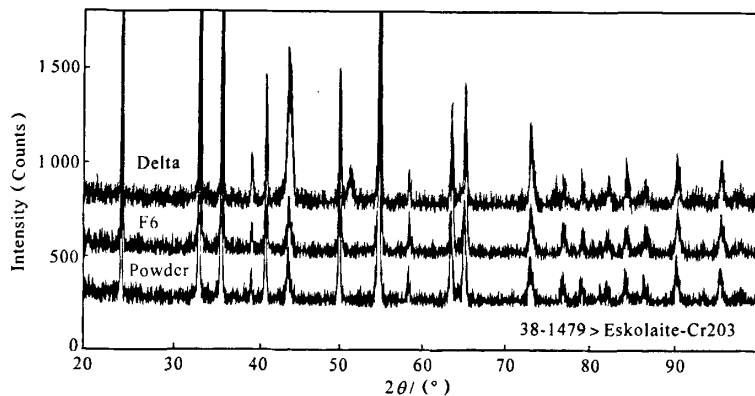
图1 316L 和 Cr_2O_3 粉末的形貌图(a) 不锈钢 316L 粉末形貌; (b) Cr_2O_3 粉末形貌Fig. 1 Morphologies for 316L and Cr_2O_3 powders(a) 316L powder; (b) Cr_2O_3 powder

2 结果与讨论

2.1 相分析

在热喷涂过程中 Cr_2O_3 粉末在一定程度上可发生分解, 分解成 Cr_3O_4 , CrO 及 Cr_2O 低价态氧化物, 甚至金属 Cr . 由于这些低价态的铬氧化物夹杂在 Cr_2O_3 涂层中, 一方面使涂层的耐磨性降低, 另一方

面这些低价态的铬氧化物容易在酸性环境下腐蚀, 而使 Cr_2O_3 涂层的耐蚀能力降低^[6]. 因此, 喷涂 Cr_2O_3 涂层时应尽可能降低 Cr_2O_3 的分解. 图 2 为 F6 喷枪及三阳极等离子喷枪所制备的 Cr_2O_3 涂层的 XRD 图谱. 从图 2 可见, 粉末和涂层的 XRD 图谱均与标准 PDF38-1479 图谱相对应. 表明粉末和涂层中均只有六方晶系 Cr_2O_3 相, 粉末经等离子喷涂后均没有发生明显的脱氧分解.

图2 Cr_2O_3 粉末及两种 Cr_2O_3 涂层的 XRD 图谱Fig. 2 XRD patterns of Cr_2O_3 powder and Cr_2O_3 coatings

2.2 显微结构分析

图 3 为 Cr_2O_3 涂层表面的显微形貌. 从图 3 可见, F6 等离子枪所喷涂的 Cr_2O_3 涂层表面比较粗糙, 可以看到个别未熔 Cr_2O_3 颗粒和一些球形小颗粒, 这些球形颗粒是在涂层中快速凝固并沉积的未熔融的

细小 Cr_2O_3 颗粒; 三阳极等离子喷涂 Cr_2O_3 的涂层表面也夹杂有个别的未熔融 Cr_2O_3 颗粒, 但球状夹杂颗粒较少, 涂层堆垛紧密. 这是由于三阳极等离子喷涂采用的是三个相互绝缘的阳极, 电流从阴极向阳极流动, 开始是在三阳极枪的中心位置以单弧出现, 直到靠近阳极的轴位置, 单弧变成了三个短弧, 由于阳极

位置已经固定,使弧根位置确定,从而使弧不受工作参数影响;同时采用枪外三对称径向送粉,大部分粉末不易偏离中心而被充分地加速及加热,从而提高粉末粒子的沉积效率、降低非氧化物陶瓷和金属涂层中的氧化物含量,提高涂层的致密度。

此外,两种 Cr_2O_3 涂层均存在一些裂纹。这是因为在热喷涂过程中熔融的粒子撞击到前一层涂层表面,产生变形及急冷凝固收缩,从而产生较大的残余应力(拉应力),当应力积累到一定程度时即产生裂纹。

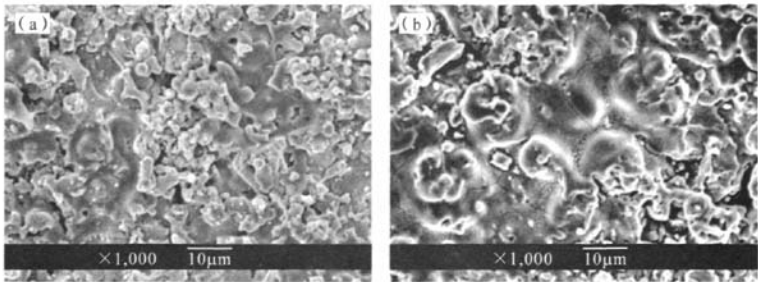


图 3 Cr_2O_3 涂层的表面形貌
(a) F6 枪等离子喷涂制备的 Cr_2O_3 涂层;(b) Delta 枪等离子喷涂制备的 Cr_2O_3 涂层
Fig.3 Surface morphologies of Cr_2O_3 coatings
(a) Cr_2O_3 coating by F6 gun;(b) Cr_2O_3 coating by Delta gun

图 4 为 Cr_2O_3 涂层剖面的 SEM 形貌。从图 4 可见,两种 Cr_2O_3 涂层均呈现明显的层状结构,并存在较多的孔隙。在 F6 等离子喷枪所喷涂的 Cr_2O_3 涂层中存在较多的孔隙,孔隙大小约 $10\ \mu\text{m}$;在三阳极等离子喷涂的 Cr_2O_3 涂层中孔隙略小,但层间间隙

大。这是由于三阳极喷枪可以使大部分粉末粒子进入火焰中心,使粒子获得更高的动能,因此可以获得更致密的 Cr_2O_3 涂层。虽然三阳极喷涂的 Cr_2O_3 涂层因残余应力大而导致层间间隙大,但对涂层的结合强度影响不大。

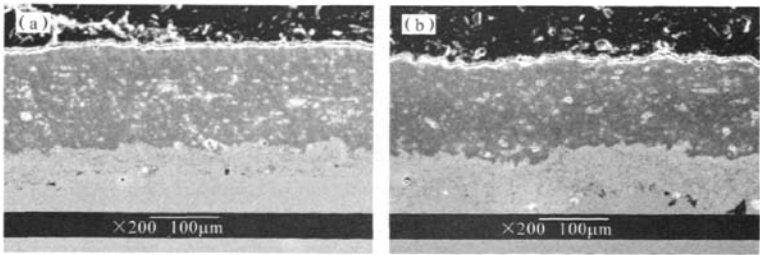


图 4 Cr_2O_3 涂层的剖面形貌
(a) F6 枪等离子喷涂制备的 Cr_2O_3 涂层;(b) Delta 枪等离子喷涂制备的 Cr_2O_3 涂层
Fig.4 Cross-sectional structures of Cr_2O_3 coatings
(a) Cr_2O_3 coating by F6 gun;(b) Cr_2O_3 coating by Delta gun

2.3 涂层的基本性能

图 5 为 Cr_2O_3 涂层的显微硬度和结合强度。从图 5 可见,F6 等离子喷枪喷涂的 Cr_2O_3 涂层的硬度为 1138,三阳极等离子喷涂的 Cr_2O_3 涂层的硬度为

1067,两种 Cr_2O_3 涂层的显微硬度相差不大;三阳极等离子喷涂的 Cr_2O_3 涂层的结合强度为 56 MPa,而 F6 等离子喷涂枪的 Cr_2O_3 涂层的结合强度仅为 38 MPa,三阳极等离子喷涂的 Cr_2O_3 涂层的结合强度与 F6 等离子喷涂的相比高 48%。涂层的结合强度

与粒子在喷涂过程中的飞行速度有直接关系,这表明在三阳极等离子喷涂中 Cr_2O_3 粒子的运动速度比在传统大气等离子喷涂中的速度高.有关粒子在不同等离子枪中的物理行为和所制备的 Cr_2O_3 涂层的摩擦磨损和腐蚀性能将进一步进行研究.

表 1 Cr_2O_3 涂层的结合强度和显微硬度

Table 1 Adhesive strength and micro-hardness of Cr_2O_3 coatings

	显微硬度	结合强度/MPa
F6 喷枪喷涂的 Cr_2O_3 涂层	1138	38
Delta 喷枪喷涂的 Cr_2O_3 涂层	1067	56

3 结 论

(1)在相组成、显微结构和涂层硬度方面,三阳极等离子喷涂所制备的 Cr_2O_3 涂层与传统大气等离子喷涂所制备的 Cr_2O_3 涂层相近.

(2)三阳极等离子喷涂所制备的 Cr_2O_3 涂层的结合强度高达 56 MPa,比传统大气等离子喷涂所制备的 Cr_2O_3 涂层高 48%.

参考文献:

- [1] 戴达煌,周克崧,袁镇海,等.现代材料表面科学技术[M].北京:冶金工业出版社,2004:134-136.
- [2] 邓永翔,余文松,薛家祥,等.等离子喷涂设备的现状与进展[J].中国表面工程,2000,13(4):5-7.
- [3] 张东辉,郝勇超.国内外等离子喷涂设备现状及发展趋势[J].机械工人:热加工,2003,9:20-22.
- [4] 赵力东,ERICH L.热喷涂技术的新发展[J].中国表面工程,2002,15(3):5-8.
- [5] TANG Z, YAROSLAVSKI I, HARTELL P, et al. Axial injection plasma spraying using micro and nanopowder slurries to produce dense ceramic coatings[C]//Proc International Thermal Spray Conference. Maastricht; E Lugsheider, 2008.
- [6] 徐炫. Cr_2O_3 纳米结构热喷涂粉末及耐磨涂层的制备研究[D].长沙:中南大学,2004.

Chromium oxide coating by triple anode air plasma spraying

DENG Wei-dong, LIU Min, CHEN Xiong-wei, DENG Chun-ming

(1. Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China;

2. School of Materials and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The microstructure, phase content and basic properties of the chromium oxide (Cr_2O_3) prepared by the triple anode plasma spraying were characterized by SEM and XRD in comparison with those of conventional plasma sprayed Cr_2O_3 coating. The results revealed that the triple anode plasma sprayed Cr_2O_3 coating exhibited similar properties in microstructure and hardness to conventional plasma sprayed Cr_2O_3 coating, but displayed 48% higher adhesive strength than that of conventional Cr_2O_3 coating.

Key words: triple anode plasma spray; conventional plasma spray; Cr_2O_3 coating