

文章编号:1673-9981(2008)03-0195-05

常压等离子喷涂 Cr_2O_3 涂层摩擦磨损性能的研究

陈雄伟^{1,2}, 刘 敏², 尹登峰¹, 朱晖朝², 邓春明²

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

摘 要:测试了在室温、干磨擦及不同载荷和转速的条件下, Cr_2O_3 涂层相对于 GCr15 不锈钢的摩擦磨损性能。结果表明, 随着载荷或转速的增加, Cr_2O_3 涂层磨损量均呈指数增加趋势; 摩擦系数随载荷的增加先增后减, 随转速的增大而减小。对磨痕的显微形貌观察和能谱分析表明, Cr_2O_3 涂层的磨损机理为微观脆性断裂剥落和粘着磨损的共同作用。

关键词:常压等离子喷涂; Cr_2O_3 涂层; 摩擦磨损

中图分类号: TG174.442 **文献标识码:** A

摩擦磨损失效主要发生在材料表面, 因此, 一般通过表面处理来提高材料的耐磨性能。热喷涂因可在大面积基体上涂覆致密的硬面涂层而得到广泛应用。采用热喷涂方法在材料表面覆盖一层耐磨涂层, 不仅可以修复失效的零件, 而且还可以提高材料的使用寿命。因此, 热喷涂技术具有及其重要的市场应用价值。

等离子喷涂具有焰流温度高、速度快及气氛可控等优点, 是目前广泛使用的热喷涂技术之一。利用等离子喷涂技术可以使工件表面获得硬度高、耐磨、耐蚀以及其它各种物理化学性能优异的涂层^[1]。 Cr_2O_3 涂层具有较高的硬度、高温稳定性、低摩擦系数、耐磨、耐蚀和耐热等特性, 是应用最为广泛的耐磨、耐蚀涂层之一。等离子喷涂 Cr_2O_3 涂层已广泛应用于密封环、柱塞、柴油发动机汽缸内衬、印刷用陶瓷网纹辊等部件。因此, 对 Cr_2O_3 涂层摩擦磨损性能的研究具有重要意义^[2-7]。目前, 国内外对 Cr_2O_3 涂层摩擦磨损性能的研究, 主要集中在 Cr_2O_3 涂层与其它涂层摩擦磨损性能对比以及添加剂对 Cr_2O_3 涂层摩擦磨损性能的影响。本文对等离子喷涂 Cr_2O_3 涂层的摩擦磨损性能进行了研究, 以期为其应用提供参考。

1 试验部分

1.1 试样制备

基体材料为 45 号钢, 用于磨损试验的试样尺寸为 $\Phi 5\text{mm} \times 15\text{mm}$, 等离子喷涂设备为德国 GTV MF-P-1500 型 F6 喷枪。喷涂前先对试样进行喷砂预处理, 然后再在试样表面喷涂厚度 $100\ \mu\text{m}$ 的 316L 粘结层(粉末粒度 $15 \sim 45\ \mu\text{m}$), 最后喷涂厚度约 $400\ \mu\text{m}$ 的 Cr_2O_3 涂层(粉末粒度 $10 \sim 45\ \mu\text{m}$)。喷涂工艺参数列于表 1。

1.2 涂层检测

采用济南益华 MMW-1A 销—盘摩擦磨损试验机测试涂层的摩擦磨损性能。在室温下, 将试样喷涂涂层后与 $\Phi 31.7\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的 GCr15 不锈钢盘干摩擦 40 min。其中 GCr15 为淬火态, 硬度为 HRC 59~61。试样磨损时实际旋转直径为 23.87 mm。在转速为 600 r/min 的条件下分别测试不同载荷下涂层的摩擦磨损性能及在载荷为 150 N 的条件下不同转速下涂层的摩擦磨损性能。采用 Sartorius BS224S 电子天平(精度 0.1 mg)测试试样磨损前后的重量, 求其磨损量。每个测试点进行三次试验, 求其三次的平均磨损量。

收稿日期: 2008-01-22

作者简介: 陈雄伟(1984—), 男, 湖北咸宁人, 硕士研究生。

表 1 涂层常压等离子喷涂(APS)制备工艺参数
Table 1 Air plasma spraying parameters for coatings

涂层	电弧电流 /A	电弧电压 /V	Ar 气流量 /(L·min ⁻¹)	H ₂ 气流量 /(L·min ⁻¹)	送粉气流量 /(L·min ⁻¹)	送粉率 /(g·min ⁻¹)	喷涂距离 /mm
316L 粘接层	600	70	45	7	5	40	110
Cr ₂ O ₃ 涂层	600~650	70~75	40~45	8~10	5	45	110

采用体视镜及 JEOL JSM—5910 扫描电镜对涂层磨损表面进行微观形貌分析,并用其附带的能谱仪(EDS)进行化学成分的半定量分析。

2 实验结果及讨论

2.1 涂层磨损后表面形貌

涂层和金属表面不可能是理想的光滑表面,当 Cr₂O₃ 涂层和 GCr15 滑动接触时,只是某些微凸体之间相互接触。在摩擦过程中,涂层微凸体受到持续

的循环切应力作用,发生脆性断裂,微凸体被切落,形成磨屑。微凸体被切落后,在微凸体根部或微凸体周围,容易形成裂纹。同时,在持续的压应力的作用下,在涂层孔洞、夹杂物、大晶粒处及晶界处也可能形成裂纹。Cr₂O₃ 涂层的断裂韧性较差,在交变应力持续的作用下,这些裂纹将交互扩展、长大、连接。当这些裂纹扩展到临界长度时就会发生失稳并向表面剪切,导致涂层中的扁平颗粒部分或是整体脱落,形成磨屑。从图 1(a)可看到涂层磨损后表面的微凸体和裂纹。

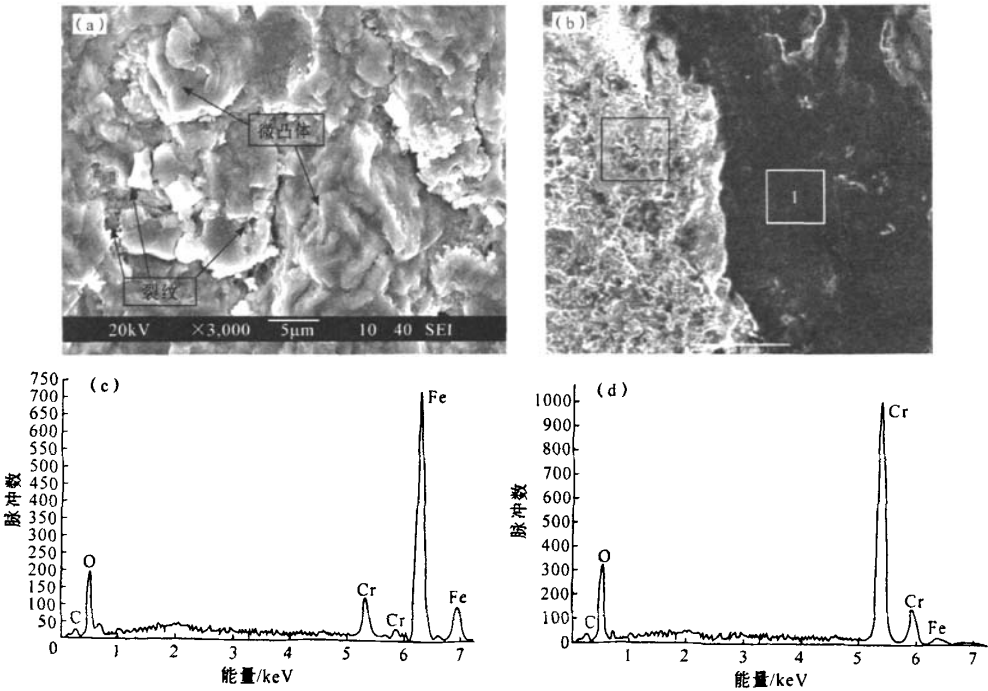


图 1 Cr₂O₃ 涂层磨损后表面 SEM 形貌及 EDS 谱

(a)磨损后表面的微凸体、裂纹;(b)磨损后表面形貌;(c)图 1(b) 1 区的能谱;(d)图 1(b) 2 区的能谱

Fig. 1 SEM micrographs and EDS spectrum of Cr₂O₃ coatings after wear test

(a) multi-asperity and cracks; (b) surface morphology; (c) EDS spectrum at region 1 in Fig. 1(b);

(d) EDS spectrum at region 2 in Fig. 1(b)

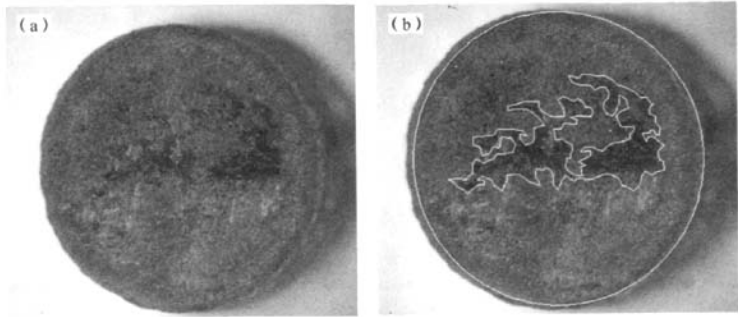


图 2 体视镜下 Cr_2O_3 涂层磨损后表面形貌(载荷 50N, 转速 600 r/min)
(a) 涂层磨损后形貌; (b) Fe 磨屑转移面选定图

Fig. 2 Macrographs of Cr_2O_3 coatings after wear test under stereoscope (load 50N, speed 600 r/min)
(a) coating surface after wear; (b) selected area shows the Fe abrasive dust

从 Cr_2O_3 涂层磨损后的表面形貌(图 1(a,b))及能谱分析(图 1(c,d))可知,在摩擦磨损过程中,不锈钢磨盘中的铁磨屑会粘附在涂层表面.在体视镜下观察在载荷 50 N 和转速 600 r/min 下 Cr_2O_3 涂层磨损后的表面,发现有部分区域呈黑色,如图 2(a)所示.由扫描电镜分析(图 1(b))和能谱分析(图 1(c,d))可知,黑色部分为 Fe 磨屑转移到涂层表面.由于 Cr_2O_3 涂层较硬,磨件 GCr15 相对较软,因此在摩擦过程中,GCr15 的磨屑相对容易脱落.随着摩擦时间的延长,磨屑增多,形成堆积.磨损后材料露出的新鲜表面比较洁净.磨屑堆积在粗糙表面上,在法向压应力的作用下,一小部分微凸体的顶峰应力集中,压应力较大,再加上摩擦过程中的闪温作用,磨屑堆积在表面易产生塑性变形,粘附在涂层表面^[8-9].因此,在摩擦磨损过程中,涂层不仅发生微观脆性断裂,同时还发生了粘着磨损.

选定图 2(a)中的黑色部分如图 2(b)所示,计算其面积,然后再计算其所占 Cr_2O_3 涂层磨损面的面积比率,可得知 Fe 磨屑转移到 Cr_2O_3 涂层表面的面积比.不同载荷下 Fe 磨屑转移到 Cr_2O_3 涂层表面的面积比如图 3 所示.由图 3 可知,随着载荷的增加,Fe 磨屑转移到涂层表面的面积比增加.说明载荷越大,粘着磨损越严重.在 250 N 下涂层出现了严重的粘着磨损. Fe 磨屑粘着在 Cr_2O_3 涂层表面的面积比达到了 63.7%. 载荷的增加导致磨屑增多,堆积在涂层表面的磨屑所占面积增大;同时载荷越大,法向压应力越大,摩擦时的闪温越高,因此越易发生粘着磨损.由图 4 可知,转速对涂层粘着磨损影响不大.涂层在转速较低时粘着磨损较高;随着转速提高,粘着磨损略微减轻,其后又有所加大,粘着面积比在 45% 左右波动.

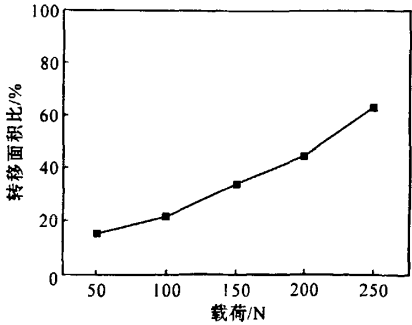


图 3 不同载荷下磨屑转移面积比

Fig. 3 The influence of load on the area ratio of transformed debris

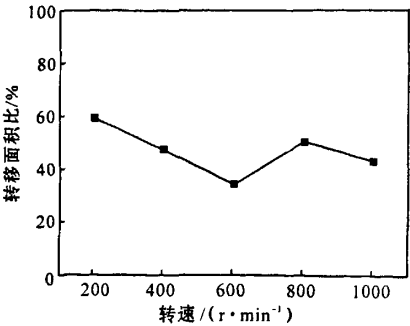


图 4 不同转速下磨屑转移面积比

Fig. 4 The influence of rotation speed on the area ratio of transformed debris

2.2 涂层摩擦磨损性能

在转速为 600 r/min 的条件下,载荷对涂层磨损量的影响如图 5 所示。由图 5 可知,载荷低时,涂层的磨损量较小,且差别不大。随载荷增加,涂层磨损量增加。当载荷超过 200 N 时,涂层的磨损量急剧增加。过大的载荷会引起 Cr_2O_3 涂层的崩裂。涂层的

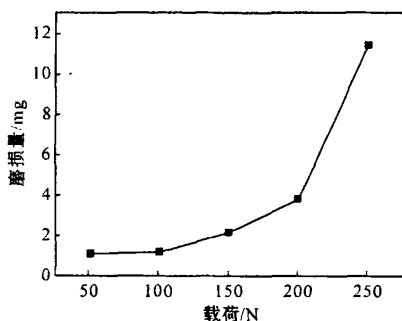


图 5 载荷对 Cr_2O_3 涂层磨损量的影响

Fig. 5 The influence of load on the dry wear values of Cr_2O_3 coatings

在载荷为 150 N 的条件下,转速对涂层的磨损量的影响如图 7 所示。由图 7 可知,随转速增加,涂层的磨损量呈指数上升趋势,与载荷对涂层磨损量的影响

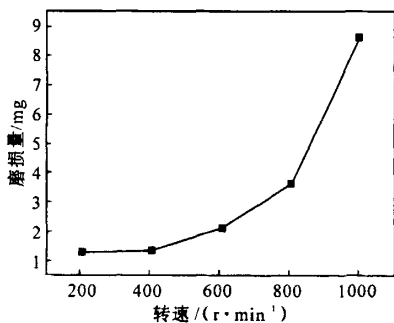


图 7 转速对 Cr_2O_3 涂层磨损量的影响

Fig. 7 The influence of rotation speed on the dry wear values of Cr_2O_3 coatings

当两表面相互接触时,由于微凸体的不等高,实际上只有少数较高的微凸体相互接触,使微凸体被剪切,或使涂层形成裂纹,从而形成磨屑。随着载荷增加,实际接触的微凸体增多,接触面积也增大。载荷越大,微凸体越易被剪切,涂层越易形成裂纹,从

磨损量随载荷的增加不像一般材料呈线性关系,而是呈指数上升趋势。

载荷对 Cr_2O_3 涂层摩擦系数的影响如图 6 所示。由图 6 可知,涂层的摩擦系数受载荷的影响不大。随着载荷的增大,涂层的摩擦系数先略微增加,然后减小。本实验条件下涂层的摩擦系数约为 0.5。

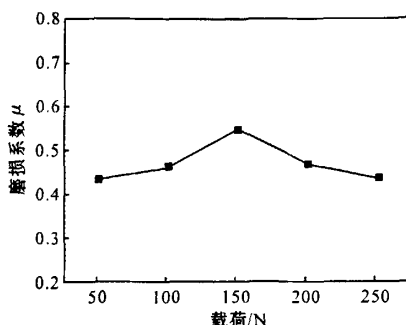


图 6 载荷对 Cr_2O_3 涂层摩擦系数的影响

Fig. 6 The influence of load on the dry friction coefficient of Cr_2O_3 coatings

相似。在转速为 800 r/min 时, Cr_2O_3 涂层磨损量依然较低,说明涂层具有良好的耐磨性能。而涂层的摩擦系数随转速的增加呈下降趋势,如图 8 所示。

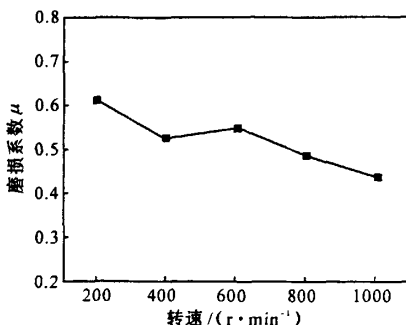


图 8 转速对 Cr_2O_3 涂层摩擦系数的影响

Fig. 8 The influence of rotation speed on the dry friction coefficient of Cr_2O_3 coatings

而引起更多的磨屑脱落。 Cr_2O_3 涂层为脆性材料,当涂层所受应力较小时,涂层只是局部微凸体区域处于应力集中,超过临界值,形成断裂。随着载荷增加至足够大时,摩擦面大部分微凸体所受应力超过临界值,涂层的磨损量急剧增加。因此, Cr_2O_3 涂层的

磨损量随着载荷的增大,呈指数上升趋势。

转速较低时,对偶微凸体相互滑动,可能越过微凸体,而当接触次数达到一定数量时,微凸体受到的循环剪切应力达到一定值,微凸体被剪切断裂。转速越大,微凸体所受的循环剪切次数越多,越易形成磨屑。因此,随着转速提高, Cr_2O_3 涂层的磨损量表现出与受载荷影响的相似的规律。

在载荷增大初期,磨损面接触较多,因此, Cr_2O_3 涂层的摩擦系数随载荷的增加而增加。当载荷继续增大,有相当一部分微凸体脱落形成磨屑,磨损接触面粗糙度减小,这时 Cr_2O_3 涂层的摩擦系数随载荷的增加先增后减。而随着转速增大,形成的磨屑增多,接触面粗糙度减小, Cr_2O_3 涂层的摩擦系数减小。

3 结 论

(1)随着载荷的增大, Cr_2O_3 涂层磨损量呈指数增加趋势,摩擦系数先增后减;随着转速的增大, Cr_2O_3 涂层的磨损量也呈指数增加趋势,摩擦系数呈下降趋势。

(2) Cr_2O_3 涂层的磨损机理为微观脆性断裂和粘着磨损的共同作用。随着载荷增加,磨屑的转移越多,涂层粘着磨损越严重。转速较小时,涂层就发生严重的粘着磨损;随转速增大,粘着磨损有所减轻,其后又呈波动趋势。

参考文献:

[1] 周静,韦云隆,张隆平,等.等离子喷涂耐磨涂层及热障

涂层的新进展[J].表面技术,2001,30(2):23-25.

[2] 孙永兴,王引真,何艳玲. Cr_2O_3 梯度涂层的组织与耐磨性研究[J].材料导报,2000,14(7):64-65.

[3] CELIK E, TEKMEK C, OZDEMIR I, et al. Effects on performance of Cr_2O_3 layers produced on Mo/cast-iron materials[J]. Surface and Coatings Technology, 2003, 174: 1074-1081.

[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] 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.

[6] MANN B S, PRAKASH B. High temperature friction and wear characteristics of various coating materials for steam valve spindle application[J]. Wear, 2000, 240: 223-230.

[7] TOMA D, BRANDL W, MARGINEAN G. Wear and corrosion behaviour of thermally sprayed cermet coatings [J]. Surface and Coatings Technology, 2001, 138: 149-158.

[8] AHN K S, KWON O K. Tribological behaviour of plasma-sprayed chromium oxide coating [J]. Wear, 1999, 225: 814-824.

[9] BOLELLI G, CANNILLO V, LUSVARGHI L, et al. Wear behaviour of APS and HVOF sprayed ceramic coatings [C]//Proceedings of the 2006 International Thermal Spray Conference. Seattle, USA: [s. n.], 2006.

Investigation on the wear behavior of air plasma sprayed Cr_2O_3 coatings

CHEN Xiong-wei^{1,2}, LIU Min², YIN Deng-feng¹, ZHU Hui-chao², DENG Chun-ming²

(1. Central South University, Changsha 410083, China;

2. Guangzhou Research Institute of Nonferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

Abstract: The dry wear behavior of air plasma sprayed Cr_2O_3 coatings against GCr15 steel was investigated using a pin-on-disk tribometer at room temperature. Experimental results showed that the weight loss amount of Cr_2O_3 coatings increased exponentially with the increase of loads and rotation speed. The friction coefficient of the Cr_2O_3 coatings increased first and then decreased with increasing loads, but it decreased with increasing rotation speed. The wear scars were then examined by scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). It was found that the wear mechanisms of Cr_2O_3 coatings were governed by micro brittle fracture and adhesion wear.

Key words: air plasma spray; Cr_2O_3 coatings; friction; wear