

铁基含 TiC 陶瓷粉电弧喷涂粉芯丝材的研究*

贺定勇, 张发云, 蒋建敏, 傅斌友, 栗卓新, 王智慧

(北京工业大学 材料科学与工程学院, 北京 100022)

摘要: 采用电弧喷涂含TiC陶瓷粉末的粉芯丝材, 在低碳钢基体上制备了铁基复合涂层。用MLS-225型湿砂橡胶轮磨损试验机测试了涂层的抗磨粒磨损性能。利用光学显微镜、SEM、XRD分析技术对涂层的显微组织结构、磨损表面和相组成进行了研究。结果表明: 采用电弧喷涂工艺可制备含TiC陶瓷硬质相的复合涂层, 在铁基体上弥散分布着一定量的TiC硬质颗粒, 使整个涂层得到强化, 涂层显微硬度平均值约为1 137 HV_{0.1}, 涂层的抗磨粒磨损性能较好, 相对Q235钢提高了6倍。涂层磨损机制主要为犁沟切削和脆性断裂。

关键词: 铁基复合涂层; 电弧喷涂; TiC陶瓷; 耐磨粒磨损

中图分类号: TG174.442

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05-0041-04

Study on Iron Base Arc Spraying Cored Wire with TiC Ceramic Powders

HE Ding-yong, ZHANG Fa-yun, JIANG Jian-min, FU Bin-you, LI Zhuo-xin, WANG Zhi-hui

(College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: Iron base composite coatings were deposited on mild steel substrate by arc spraying using cored wire with TiC ceramic powders. The abrasive wear resistance was examined on the MLS-225 model wet sand/rubber wheel tester. The microstructure, phase compositions and worn surface morphologies of the coatings were observed by means of optical, scanning electron microscopy and X-ray diffraction. The results showed that the composite coating was obviously reinforced by the TiC hard particles distributed in the iron-based coating. The average microhardness of the coating was about 1137 HV_{0.1}, it showed excellent abrasive wear resistance about 6 times higher than that of the Q235 mild steel. Wear mechanisms of coating was mainly micro-ploughing and brittle fracture.

Key words: iron-based composite coating; arc sprayed; TiC ceramic; abrasive wear resistance

0 引言

喷涂用金属型碳化物陶瓷粉末中, TiC与WC、Cr₃C₂相比, 具有高硬度、低密度、高熔点和较好的抗热震性能等优点^[1,2]。TiC增强涂层的制备大多采用HVOF、等离子喷涂及爆炸喷涂等工艺。如, 采用大气等离子喷涂(APS)技术, 制备的TiC强化涂层结合强度达58 MPa, 与WC-Co涂层相比, 其耐滑动磨损性能提高了20%, 比Stellite6涂层提高了100%^[3]。与HVOF喷涂75%Cr₃C₂-25%NiCr涂层相比具有更好的耐磨性^[4]。

电弧喷涂法制备金属陶瓷复合涂层是近十几年发展起来的一种新方法。采用实心丝材难以获

得该类型涂层, 而通过喷涂粉芯丝材的方式可以制备陶瓷粉末增强的金属基复合涂层。其中, 电弧喷涂制备含碳化物强化涂层的研究报道主要集中于采用WC^[5,6]、Cr₃C₂^[7,8]强化的涂层, 涂层具有较高的硬度和耐磨性等。尚未见有关电弧喷涂制备含TiC硬质相强化涂层的研究报道。

文中采用电弧喷涂含TiC陶瓷粉末的粉芯丝材制备了铁基复合涂层, 对涂层的显微结构和相组成进行了分析, 考察了涂层抗磨粒磨损特性, 并探讨了涂层的磨损机理。

1 试验材料和方法

1.1 涂层制备

采用 ϕ 2.0 mm的粉芯丝材制备铁基陶瓷复合涂层, 粉芯丝材的外皮选用304不锈钢带, 规格10

收稿日期: 2006-05-19; 修回日期: 2006-05-31

基金项目: *北京市自然科学基金(2062005)资助项目

作者简介: 贺定勇(1970-), 男(苗), 贵州锦屏人, 副教授, 博士。

mm×0.4 mm, 化学成分(质量分数%): C0.068, Si0.39, Mn1.26, P0.027, S0.007, Cr17.20, Ni8.06, 余为 Fe。主要填充粉末为 TiC 陶瓷粉末、硼铁及少量金属铬粉等, 填充比为 30 %左右。

采用 JZY-250 型电弧喷涂系统进行喷涂。基体材料选用尺寸为 57 mm×25 mm×5 mm 的 Q235 钢板。在喷涂前用棕刚玉进行表面喷砂处理。喷涂工艺参数为: 电流: 180~200 A, 电压: 28~32 V, 压缩空气压力: >0.55 MPa, 喷涂距离: 150~200 mm。涂层厚度约为 1.0~1.5 mm。

1.2 磨粒磨损试验

在河北宣化产 MLS-225 型湿砂橡胶轮式磨损试验机上进行磨粒磨损试验。试验参数如下: 橡胶轮转速: 240 r/min, 橡胶轮直径: 178 mm, 橡胶轮硬度: 60(邵尔硬度), 载荷: 10 kg, 磨损时间: 250 s, 橡胶轮转数: 约 1000 转, 磨料: 40~70 目的石英砂, 砂浆比例: 1000 g 水 1500 g 砂。材料的耐磨性能用磨损的失重质量来衡量。先预磨 1000 转, 再正式磨 1000 转。在磨损试验前后, 将试件放入盛有丙酮的烧杯中超声清洗 5 min, 干燥后用精度为 0.1 mg 的塞多利斯 BS224S 电子天平称量。取 3 个试样的平均值来衡量涂层的耐磨性。试验同时用 Q235 钢作为对比。磨粒磨损试验后, 在磨痕中部切取出约 5 mm×5 mm 的小块, 在扫描电镜下观察磨粒磨损过程中留下的磨痕。

1.3 涂层显微组织结构及性能分析

用装配EDS附件的FEI Quanta 200型扫描电子显微镜(SEM)观察分析涂层的组织形貌及磨痕形貌。用D8 ADVANCE型X射线衍射仪(XRD)分析涂层的相组成。涂层的结合强度测试参照ASTM C633-79(1993年重新核准)中规定的对偶拉伸试验法, 在MTS-810材料拉伸试验系统上进行。在HT320型全洛氏硬度计上测涂层表面洛氏硬度, 标尺为45 N, 测5个点, 取平均值。并在HXD-1000型数字式显微硬度计上测定涂层的显微硬度, 试验所加载荷为100 N, 加载15 s, 测10个点, 取平均值。

2 结果与讨论

2.1 涂层的组织与性能

涂层的XRD衍射图谱如图1所示。

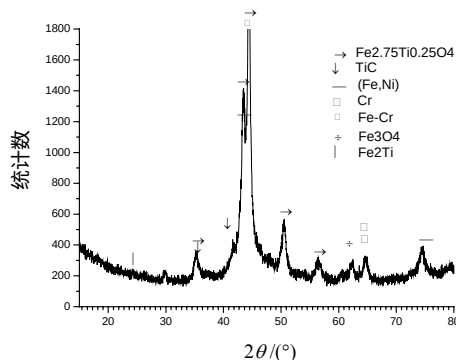


Fig.1 XRD pattern of coating

图1 涂层的XRD图谱

可以看出, 涂层的主要相为Fe-Cr、(Fe,Ni)、 $\text{Fe}_{2.75}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_4$ 氧化物相, 以及少量的TiC硬质相、 Fe_2Ti 金属间化合物等。粉芯中的TiC陶瓷粉末在电弧喷涂过程中部分被氧化以及与铁基形成少量的化合物, 同时也保留下部分TiC硬质相。

图2所示为涂层横截面组织形貌的照片及局部能谱分析结果。涂层呈典型的层状结构特征, 涂层中存在少量孔隙及氧化物, 无微裂纹。

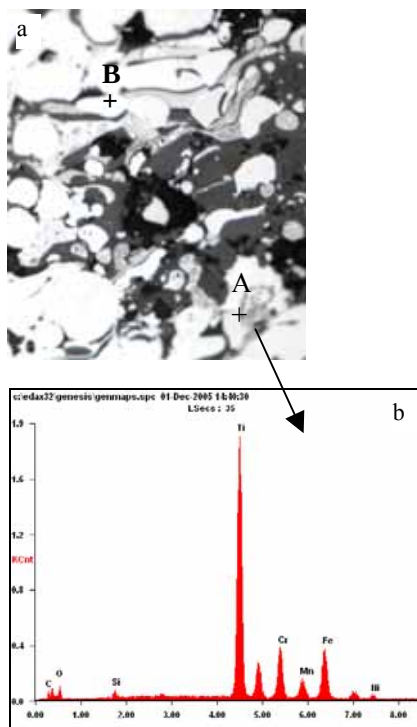


图2 涂层横截面组织形貌(a)及能谱分析结果(b)

Fig.2 Cross-section microstructure morphology of coatings (a) and EDS analysis result (b)

EDS分析结果见表1所示，结合XRD和EDS分析结果可知，涂层中局部区域(A点)含Ti量较高，证明在涂层内部还残余有一定量的TiC硬质相。B点区域为不锈钢带材等经电弧熔融及雾化后形成的化合物及氧化物。

表1 涂层的成分(质量分数/%)

Table 1 The Composition of the coatings(%)								
成分	C	O	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
A	5.53	9.20	1.07	46.82	13.34	4.48	18.03	1.53
B		7.60			16.38	1.37	68.69	5.96

表2列出了涂层的结合强度、硬度测试结果。可以看出，涂层具有较高的结合强度，涂层的表面洛氏硬度平均值为53 HR45N，显微硬度最高值达1 658 HV_{0.1}，平均值为1 137 HV_{0.1}。涂层硬度高于常用的3Cr13、1Cr18Ni9Ti实心丝材电弧喷涂层硬度(分别为635 HV和278 HV)^[9]。说明在粉芯中加入一定量的TiC陶瓷硬质相，对提高涂层的硬度具有较重要作用，使涂层硬度得到很大程度的提高。

表2 涂层的性能

Table2 The properties of the coating		
结合强度/MPa	表面洛氏硬度/HR45N	显微硬度/HV _{0.1}
50	53	1137

2.2 涂层的磨粒磨损特性

涂层磨粒磨损试验结果表明，对比用Q235钢平均失重1.2246 g，涂层平均失重0.2002 g。涂层相对耐磨性约为Q235钢的6倍。说明含TiC陶瓷硬质相电弧喷涂层具有较好的耐磨粒磨损性能。涂层耐磨性好的主要原因是在铁基体上弥散分布着一定量的TiC硬质颗粒，使整个涂层得到弥散强化，涂层不但硬度高，而且涂层中主要以FeCr、FeNi相为基体，涂层的韧性较好，因而涂层的耐磨性好。

图3为涂层经磨粒磨损后的SEM表面形貌。可以看出，涂层磨痕表面有明显的犁沟特征，即存在微观切削过程。同时在载荷作用下，磨粒被压入涂层表面而产生一定深度的压痕，将塑性材料表面挤压出层状或鳞片状的剥落碎屑。由于涂层

的层状结构特征、颗粒之间存在一定的氧化膜及少量孔隙等缺陷，涂层这种扁平颗粒在磨粒的多次挤压、切削作用下，涂层表面疲劳失效、颗粒脱落，最终形成凹坑。由于TiC增强涂层的不锈钢基体硬度较高(约700~900 HV_{0.1})，同时在基体中弥散分布着一定量的TiC硬质相，使整个涂层得到了弥散强化，在点接触下不能产生明显脆性剥落。而高硬度基体与硬质相的共存构成了一个良好的承载系统^[10]，使涂层硬度整体较高，对提高涂层的耐磨性起到了一定的作用。

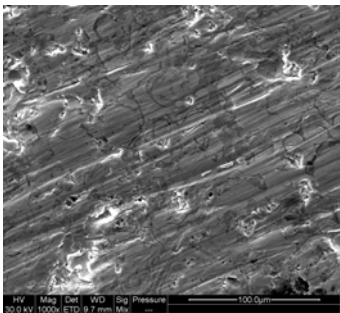


图3 涂层磨损后的表面形貌

Fig.3 The worn surface morphology of the coating

3 结 论

- (1) 采用电弧喷涂外皮为 304 不锈钢带包覆含 TiC 陶瓷粉末的粉芯丝材，在低碳钢基体上制备了铁基复合涂层。涂层中残留有部分 TiC 陶瓷硬质相。
- (2) 涂层具有较高的结合强度、硬度以及较好的抗磨粒磨损性能。与对比样 Q235 钢相比，涂层的相对耐磨性约为其 6 倍。
- (3) 涂层的磨粒磨损在脆性剥落与犁沟切削共同作用下发生。涂层耐磨性好的原因主要是涂层中塑性较好的基体硬度较高，同时在基体中含有一定量的 TiC 硬质相。

参考文献：

[1] Exner H E. Physical and Chemical Nature of Cemented Carbides [J]. International Metals Reviews, 1979, 24(4): 149-173.

[2] Economou S, De Bonte M, Celis J P, et al. Processing, structure and tribological behaviour of TiC-reinforced plasma sprayed coatings [J]. Wear, 1998, 220:34-50.

[3] Smith R W, Gentner D, Harzensky E, et al. The structure and properties of plasma sprayed TiC dispersion hardened coatings [C]. In: Proceedings of 2nd NTSC,

- Houck D Leds. ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 1988: 299-306.
- [4] Mohanty M, Smith R W. Lightweight TiC/Ti wear-resistance coatings for lightweight structural applications [J]. Journal of Thermal Spray Technology, 1995,4(4):384-394.
- [5] 朱子新, 徐滨士, 马世宁, 等. 高速电弧喷涂 Fe-Al/WC 复合涂层的组织结构及其滑动磨损性能研究 [J]. 中国表面工程, 2003,16(5):15-19.
- [6] 孟凡军, 徐滨士, 马世宁, 等. 高速电弧喷涂 Fe-Al/WC 复合涂层在 650 °C 下的氧化行为 [J]. 中国表面工程, 2003, 16 (4):30-33.
- [7] Steffens H-D, Drzeniek H, Babiak Z. Wear resistant composite coatings produced by arc spraying using cored wires [C]. In: Proceedings of 2nd NTSC, Houck D Leds. ASM International, Metals Park, Ohio, USA, 1988:331-336.
- [8] 贺定勇. 电弧喷涂粉芯丝材及其涂层的磨损特性研究[D]. 北京:北京工业大学, 2004.
- [9] 伞金福, 杜智, 毕志夫. 电弧喷涂不锈钢涂层耐磨性的研究 [J]. 摩擦学学报, 1998, 18(2):119-123.
- [10] 王慧, 夏为民, 金元生. 含碳化物硬相镍基涂层耐磨粒磨损性能研究 [J]. 摩擦学学报, 1995,15(3): 211-217.

作者地址: 北京朝阳区平乐园 100 号 100022

北京工业大学材料学院

Tel: (010) 67392168

E-mail: dyhe@bjut.edu.cn

(上接第 40 页)

主要因素, 在较小的载荷条件下($F=300\text{ N}$), 膜层的显微硬度起主要作用; 而在较高的载荷条件下($F=600\text{ N}$), 膜层的断裂韧性起更大的作用。梯度薄膜在较大的载荷条件下, 具有良好的滑动摩擦性能。

参考文献:

- [1] Su Y L, Kao W H. Optimum multilayer TiN-TiCN coatings for wear resistance and actual application [J]. Wear, 1998, 223 : 119-130.
- [2] Lin Guoqiang, Gao Yuzhou, Zhang Qingyu, et al. Composition, structure and properties of (Ti, Nb)N gradient coating synthesized by multi-arc plating [C]. Proceedings of 7th International Symposium on

Trends and Applications of Thin Films, Nancy, France 2000 : 233-235.

- [3] Laws N, Brockonbrough J R. The effect of microcrack systems on the loss of stiffness of brittle solids [J]. International Journal of Solids and Structure, 1987,123: 1247-1268.
- [4] 李建明. 磨损金属学 [M]. 北京:机械工业出版社, 1987:145.
- [5] Nam P Suh, H.-C.Sin. The genesis of friction [J]. Wear, 1981 (69): 91-114.
- [6] H.K.Zum Gahr. Wear of Materials [M]. ASME, 1979, 123-126.

作者地址: 大连市大连理工大学材料学院 116024

Tel: (0411) 84706049, 13842628270

E-mail: chenjun@dlut.edu.cn

•学术动态•

国家发改委“汽车零部件再制造研讨会”在上海召开

2006 年 9 月 29 日, 由国家发改委资源节约和环境保护司主办, 上海市发改委和上海市经济委员会联合承办的“汽车零部件再制造研讨会”在上海召开。国家发改委环资司周长益副司长主持会议, 环资司赵家荣司长、山东省经委郭述禹副主任、上海市经委杲云副主任等领导出席会议, 参加会议的单位还有国家发改委产业政策司、工业司, 国家质量总局, 交通部, 公安部, 商务部等部门代表。与会国内外代表共 150 余人。装备再制造技术国防科技重点实验室主任徐滨士院士应邀出席并做大会特邀报告。

与会代表认为, 再制造是现代服务业的重要组成部分, 开展汽车零部件再制造势在必行, 要以国务院曾培炎副总理的批示为契机, 大力开展汽车零部件再制造并形成规模产业, 并以此作为突破口, 推进我国再制造产业的蓬勃发展。代表们一致认为, 今后需加大再制造关键技术研发力度, 目前国内再制造企业采用的以微纳米表面工程技术为代表的高新技术, 对再制造的发展具有重大的促进作用, 可有效恢复和提升废旧机电设备的尺寸及工作性能, 该技术已超过国外再制造企业使用的以换件为主的传统方法, 是具有中国特色的自主创新。此次会议对于促进我国再制造工程研究和推动再制造产业发展具有重要意义。

(史佩京)

