

doi: 10.3969/j.issn.1007-9289.2010.05.008

氩弧熔敷原位合成 TiC 颗粒增强金属基复合涂层组织及耐磨性能

刘 军¹, 卢胜勇², 李芳芳²

(1. 黑龙江科技学院 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150027; 2. 南京巨龙钢管有限公司, 南京 210061)

摘 要: 以 Ni、Mo、Ti 和 B₄C 粉末为原料, 采用氩弧熔覆工艺在 Q345D 钢基体表面原位合成 TiC 等颗粒增强金属基复合涂层。借助扫描电镜、X 射线衍射仪对熔覆层显微组织进行分析; 利用显微硬度计、摩擦磨损试验机对其性能进行分析。试验结果表明: 熔覆层与基体呈冶金结合, 熔覆层无裂纹、无气孔; 原位合成的增强相弥散分布于熔覆层中, 使熔覆层具有较高的硬度, 最高硬度为 1469 HV。随着颗粒的消失, 基体硬度为 202 HV, 熔覆层最高硬度值是基体硬度值的 7 倍多。在室温干滑动磨损试验条件下, 熔覆层具有优异的耐磨性能, 其耐磨性约为基体的 15 倍。

关键词: 氩弧熔覆; 熔覆层; TiC 颗粒

中图分类号: TG174.445

献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2010)05-0045-04

Microstructure and Wear Resistance of In-situ Synthesis TiC Particulate Reinforced Metal Matrix Composite Coating by Argon Arc Cladding

LIU-Jun¹, LU Sheng-yong², Li Fang-fang²

(1. College of Materials Science and Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027; 2. Nanjing julong steel pipe co. ltd, Nanjing 210061)

Abstract: Composite coating reinforced by TiC particle was produced on the surface of Q345D steel by means of Argon arc cladding technique with the powder of Ni、Mo、Ti and B₄C. The microstructure and properties of the coating were investigated and analyzed with the help of SEM, X-ray diffraction meter, microhardness tester, friction and wear testing machine. The results show that there is a good metallurgical bonding between the coating and the substrate and the coating is uniform and almost defect free. So that cladding layer has higher hardness, the maximum hardness value is of 1469 HV. With the disappearance of particles, the measured value of substrate hardness 202 HV, the maximum hardness value is the cladding layer matrix hardness value of 7 times. At room temperature dry sliding wear test conditions, the cladding layer has good wear resistance, wear resistance is about 15 times of the matrix.

Key words: argon-arc cladding; coating; TiC particles

0 引 言

材料的摩擦磨损性能与材料的表面状态密切相关, 因此要提高材料的使用性能, 关键是改善材料的表面特性, 利用普通金属材料表面制备金属基复合材料能够有效地改善零件的硬度和耐磨性。近年来发展了一种新型的原位合成金属基复合材料制备技术, 其中的增强相是通过外加元素之间发生物理化学反应而生成, 增强相和基体界面清洁, 没有界面生成物, 原位生成的增强相在基体中分布均匀,

与金属基体有良好的浸润性和结合强度^[1-4]。而传统金属基复合材料制备是由于增强相的加入, 由于增强相颗粒与基体材料相互浸润的效果不好, 制备工艺复杂, 成本高等缺点, 限制了其广泛应用。TiC 具有有高熔点、高硬度、高杨氏模量和高温稳定性, 以及它与金属具有良好的相容性。作为熔覆材料增强相TiC日益受到人们的重视。

氩弧熔敷原位合成技术具有热量集中, 熔敷过程中无氧化, 易操作等优点^[5]。文中采用氩弧熔覆技术, 以Ni、Mo、Ti、和B₄C粉末为原料, 在Q345D 钢基体表面原位合成了TiC颗粒作为增强相的金属

收稿日期: 2010-06-15; 修回日期: 2010-07-23

作者简介: 刘军(1973—), 男(汉), 黑龙江克东县人, 硕士生。

基复合涂层。并对涂层的组织结构、硬度和耐磨性进行了研究。

1 试验材料及方法

试验选用的基体是Q345D钢，试样尺寸为60 mm×30 mm×20 mm。熔敷材料选用Ni、Mo、Ti和B₄C粉。其中Ni粉的纯度为99.99%，Mo粉纯度均为99.8%，平均粒度20 μm。Ti粉和B₄C粉的纯度均为99.5%，平均粒度30 μm。

熔覆材料成分（质量百分比）设计为50Ni-25Ti-10Mo-15B₄C。按比例称量，将称量好的Ti粉、Mo粉和B₄C粉末按比例搅拌均匀，再将混合粉末与Ni粉搅拌均匀，涂敷在Q345D钢板试样表面上，厚度为0.7~1.4 mm，待表面干燥后，将涂层压实，压平，放置在通风处自然干燥，再用DZ-2BC型电热恒温鼓风干燥箱在120℃继续烘干90 min，用切线机把试样切割成5 mm×5 mm×4 mm尺寸，用丙酮除油，用质量分数为30%的盐酸去除试样表面锈，再用酒精把表面清洗干净，最后用吹风机吹干。然后用MW3000型氩弧熔覆机进行熔敷，在室温下冷却，即可得到厚度为0.7~1.2 mm熔覆层试样。

利用XD-2型X射线衍射仪对熔覆涂层进行物相分析；用MX-2600FE扫描电子显微镜观察组织形貌进行分析；用MHV2000显微硬度仪测量熔覆层硬度与基体界面附近硬度（载荷1.96 N，加载时间10 s），最后用MMS-2A快速摩擦磨损试验机进行摩擦磨损性能测试，比较Q345D钢和熔覆涂层的硬度和耐磨性。

2 试验结果与分析

2.1 熔覆层组织及相组成

图1为熔覆层截面SEM形貌，由图1可知，熔覆层与基体的结合区很薄，它是以树枝晶的生长形态沿热流方向生长，随着温度降低，熔覆层的热量从固、液两相散失，降至一定温度熔覆层和基体结合处发生成分过冷，在涂层熔池内会产生一个很长的晶轴，随着负温度梯度产生，晶轴上又会生长二次晶轴，最后熔覆层熔池内生成树枝状的枝晶。从外观可知熔覆层截面比较致密，表明熔覆层与基体具有良好的冶金结合，且涂层无气孔、无裂纹。

图2为熔覆层组织SEM形貌，白色颗粒较多且分布均匀，为了进一步分析熔覆层中元素组成，

进行了能谱分析，见表1（1、2两点），C、Ti含量在熔覆层中占93%以上，结合熔覆层的XRD图谱（见图3）综合分析，生成的物质为TiC颗粒，并且固溶Fe、Mo元素。从（3、4两点）成分上看，C、Ti在熔覆层中占有量少，而Fe、Mo、Ni占有量较多，结合图3经XRD确认Fe（Mo、Ni、Ti）固溶体为基体。

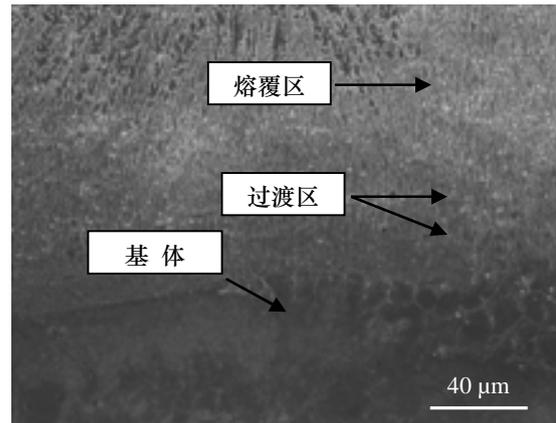


图1 熔覆层横截面SEM形貌

Fig.1 The cross-section SEM of the composite coating

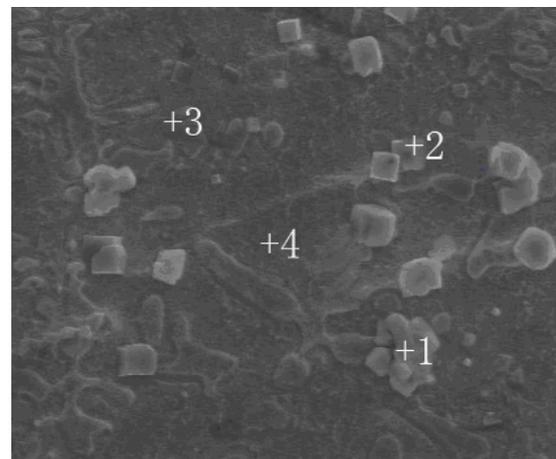


图2 熔覆层组织SEM形貌

Fig.2 SEM image of the composite coating

表1 EDS分析结果（原子数分数/%）

Table 1 EDS result (x / %)

位置	CK	TiK	FeK	MoL	NiK
1	58.90	35.36	2.61	3.13	
2	55.77	37.49	3.32	3.42	
3	3.02	3.27	56.57	31.04	6.10
4	1.02	1.27	57.21	34.26	6.24

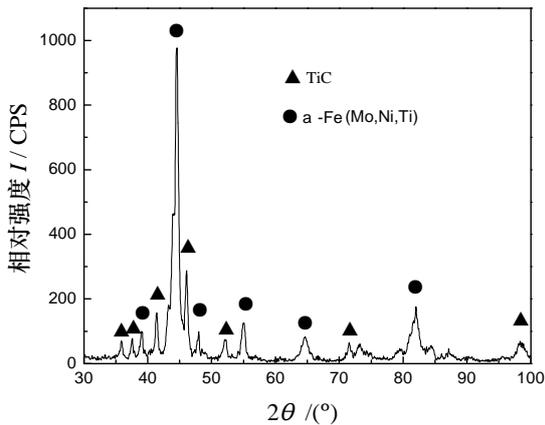


图 3 复合涂层的XRD图谱
Fig.3 XRD pattern of composite coating

2.2 熔覆层的硬度和磨损性能

用显微硬度仪沿熔覆层横断面外部向里每隔 0.2 mm 测定复合涂层到基体的显微硬度。由于熔覆区内含有大量的原位合成硬质陶瓷颗粒且弥散均匀分布, 导致熔覆层硬度相当高, 最高可达 1469 HV。过渡区颗粒相对较少, 硬度较低。随着颗粒的消失, 基体硬度值为 202 HV。由此得出熔覆层最高硬度值是基体硬度值的 7 多, 这些区域 Fe 元素的稀释率较大, 导致显微硬度下降。所以熔覆层的硬度值主要取决于原位合成硬质陶瓷颗粒的数量, 熔覆层到基体的显微硬度由表面到基体呈先增后减的规律, 如图 4 所示。

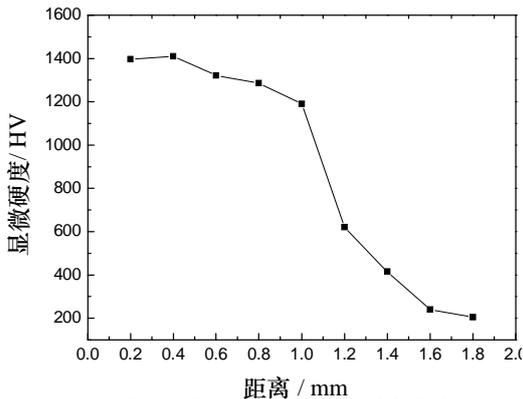


图4 熔覆层沿层深方向显微硬度分布
Fig.4 Microhardness profile of the argon shield arc

图 5 是摩擦因数与时间关系的变化曲线, 是涂层与 Q345D 钢在 60 min 时熔覆层与基体摩擦因数比较。试验结果表明: 熔覆层的平均摩擦因数明显低于 Q345D 钢的摩擦因数, 相同试验条件下 Q345D 钢磨损量是熔覆层磨损量的 15 倍, 说明复合涂层具有良好的耐磨性能, 如图 6 所示。

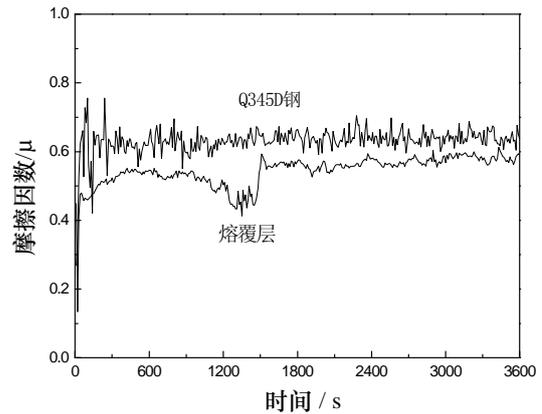


图 5 熔覆层与基体的摩擦因数
Fig.5 Comparison of friction coefficient for Q345D steel and the layer

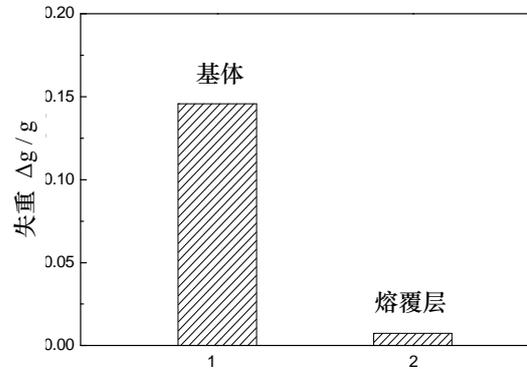


图 6 熔覆层与基体磨损失重
Fig.6 Comparison of weight loss for Q345D steel and the layer

2.3 熔覆层摩擦磨损

图 7 为 Q345D 钢试样磨损表面形貌, 由图 7 可知在室温干滑动磨损过程中, 当切应力达到临值超过屈服强度, Q345D 钢开始出现塑性变形, 伴随滑移面上的位错源不断增加, 出现了大量的滑移带, 这时磨损表面开始出现很深很宽的犁沟和片状磨屑脱落痕迹, 此时试样发生了严重的磨料磨损和粘着磨损。图 8 为复合涂层磨损表面 SEM 形貌, 由图 8 可知熔覆层有硬质颗粒, 没有明显犁沟磨损痕迹, 与 Q345D 钢相比, 熔覆层具有良好的干滑动磨损耐磨性, 原因如下: 其一, 熔覆层中存在大量 TiC 等硬质颗粒, 这些颗粒弥散分布在熔覆层中, 提高了硬度和耐磨性。其二熔覆层中固溶了大量的 Ni、Mo、Ti 等合金元素, 产生固溶强化作用。两种强化都对增强相 TiC 颗粒起到良好的支撑作用, 防止增强相在磨损过程中发生脱落。使基体与形成的 TiC 颗粒接触更加牢固, 在接触应力下难以产生塑性变形。因而熔覆层具有较高的粘着磨损抗力。

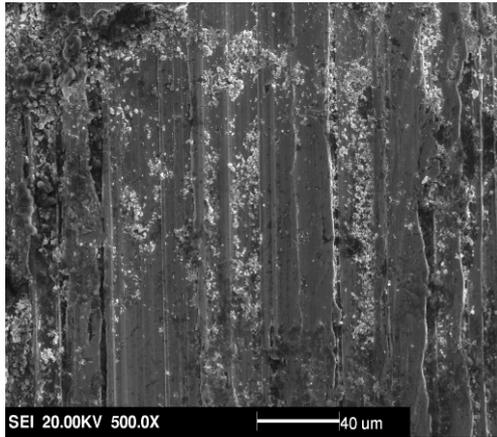


图7 Q345D 钢磨损表面形貌

Fig.7 Micrographs showing worn surfaces of Q345D steel

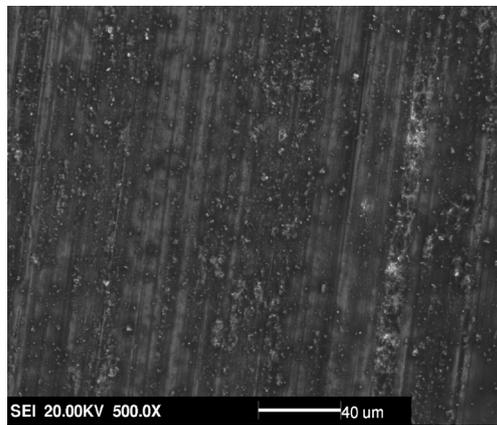


图8 熔覆层磨损表面 SEM 形貌

Fig.8 Micrographs showing worn surfaces of layer

3 结 论

(1) 以 Ni、Ti、Mo 粉和 B_4C 粉末为原料, 采用氩弧熔覆技术, 在 Q345D 钢表面制备出 TiC 颗粒为增强相的原位自生复合涂层, 熔覆层表面光滑, 与基材结合良好, 熔覆层无裂痕和气孔。

(2) 熔覆层的显微硬度分布呈现出从涂层底部到表层的梯度变化。试验数据表明熔覆层最高硬度值是基体硬度值的 7 倍多。

(3) 在室温干滑动摩擦条件下, 与 Q345D 钢基体相比涂层相对耐磨性约为其 15 倍。

参考文献:

[1] Maity Y P C, Panigrahi S C. Metal and intermetallic matrix in situ particle composites [J]. Key Engineering Materials, 1995, 108-110: 313-328.

[2] Tillmann W, Vogli E, Krebs B, et al. 大气等离子喷涂 WC 和 Cr_2C_3 基涂层 [J]. 中国表面工程, 2008, 21(2): 1-6.

[3] Srivatsan T S. Tensile deformation and fracture behavior of a titanium-alloy metal-matrix composite [J]. Composites Part A, 1997, 28A: 365-376.

[4] Tjong S C, Ma Z Y. Microstructure and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites [J]. Materials Science and Engineering, Reports, 2000, 29: 49-113.

[5] 肖代红, 黄伯云. 原位合成钛基复合材料的新进展 [J]. 粉末冶金技术, 2008, 26(3): 217-223.

作者地址: 哈尔滨市松北区糖厂街1号 150027

黑龙江科技学院材料科学与工程学院

Tel: (0451) 8803 6525

E-mail: 442576575@163.com

(上接第44页)

[3] 洪江波, 侯海量. 爆炸处理消除大型柱壳结构环焊缝残余应力试验研究 [J]. 焊接学报, 2008, 28(3): 213-219.

[4] Dane C B, Fochs S, Gwo J, et al. Solid-state heat-capacity laser for defense [R]. Laser science and technology program update 2002. Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-ID -134972- 01, 2003: 16-18.

[5] Yamamoto R M, Allen K L, Allmon R W, et al. A solid state laser for the battlefield [R]. Lawrence Livermore National Laboratory, 25th Army Science Conference, UCRL-CONF-225230, 2006.

[6] 邹世坤, 王 健, 王华明. 激光冲击处理对焊接接头力学性能的影响 [J]. 焊接学报, 2001, 22(3): 79-81.

[7] Shuter D M, Geary W. Fatigue Crack Growth from two-dimensional surface defects [J]. Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., 1995(18): 653-659.

作者地址: 西安空军工程大学工程学院 710038

研究生 11 队

Tel: 134 7436 8253

E-mail: zhoulei8012@yahoo.com.cn