NiCrBSi-Mo 与 QSn-Ni/C 涂层摩擦副摩擦磨损性能研究*

王 $建^1$, 王海军², 韩志海², 周世魁², 刘 明²

(1.中国人民解放军 65545 部队,大连 116200;2.装备再制造技术国防科技重点实验室,北京 100072)

摘 要:采用超音速等离子喷涂制备了 NiCrBSi-Mo 和 QSn-Ni/C 涂层,测试了这种摩擦副涂层的常规性能与摩擦磨 损性能。结果表明,所获得的涂层孔隙率低,分别为 0.82 %(NiCrBSi-Mo 涂层)、0.76 %(QSn-Ni/C 涂层),结合强度高, 分别为 62.2 MPa、28.9 MPa,两种涂层摩擦副摩擦因数(0.0043)仅为块体材料 18Cr2Ni4WA 与 ZQPb30 摩擦副(0.0093)的 1/2,相应磨损量(1.1 m g/h)也仅为块体材料磨损量(15.6 mg/h)的 1/15,显示出涂层摩擦副优异的减摩耐磨性能。 关键词:超音速等离子喷涂;摩擦磨损;涂层摩擦副

中图分类号:TG174.442 文献标识码:A 文章编号:1007-9289 (2006)01-0033-03

Study on Friction and Wear Performance of NiCrBSi-Mo and QSn-Ni/C Coatings Friction Paris

WANG Jian¹, WANG Hai-jun², HAN Zhi-hai², ZHOU Shi-kui², LIU Ming²

(1.Unit 65545 of PLA, Dalian 116200; 2.National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072)

Abstract: NiCrBSi-Mo and QSn-Ni/C coatings were sprayed by supersonic plasma spraying process. General properties and friction and wear behavior of two coatings as friction pair were investigated. The results showed that NiCrBSi-Mo and QSn-Ni/C coatings, with porosity rate 0.82 % and 0.76 %, bonding strength 62.2 MPa and 28.9 MPa, coefficient of friction 0.0043, which is one half that of bulk materials 18Cr2Ni4WA and ZQPb30 as friction pair, wear volume 1.1 mg/h, which is one fifteenth that of bulk materials of friction pair presented as above, exhibit excellent wear resistance and anti-friction properties.

Key words: supersonic plasma spraying; friction and wear; coatings friction pairs

0 引 言

超音速等离子喷涂粒子速度可达 400~600 m/s, 获得的涂层致密,涂层的内聚强度和结合强度高^[1], 为新一代耐高温、抗磨损、低摩擦因数的等离子涂 层提供了技术支撑。为了兼顾摩擦副抗咬死性和耐 磨性的要求,提高 18Cr2Ni4WA与 ZQPb30 材料摩 擦配副的减摩耐磨性能,采用在涂层材料中添加自 润滑材料来实现减摩耐磨功能。另外,热喷涂涂层 固有的孔隙具有储油的功能,当处于临界润滑状态 时,摩擦产生的高温使孔隙中的润滑油膨胀,并沿 孔隙外溢,起到良好的润滑调节作用^[2,3]。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验中所用的材料是国产NiCrBSi、QSn6-6-3、 Mo、Ni/C粉末,表1是粉末的化学成分。制备 NiCrBSi+30 %Mo和QSn6-6-3+30 %Ni/C涂层的基

体材料分别为 18Cr2Ni4WA、ZQPb30。

1.2 试验方法

金相试样、硬度试样的尺寸为 25 mm×16 mm×6 mm,摩擦磨损试样尺寸为内径 ϕ 16 mm,外径 ϕ 39.8 mm 厚 10 mm 环块和内孔径 ϕ 16 mm 的 40 mm×40 mm×10 mm 方块试样,胶结拉伸法测结合强度试样 的尺寸为 ϕ 25.4 mm×60 mm。

超音速等离子喷涂采用装甲兵工程学院装备 再制造技术国防科技重点实验室的 HEPJet 超音速 等离子喷涂设备。喷涂前先用丙酮清洗试样表面, 然后用 833 µm (20 目)的棕刚玉磨料对试样表面粗 化处理。采用灰度法测定涂层横截面的孔隙率,试 样测试前按金相制样标准进行研磨和抛光。涂层的 平均孔隙率值为 5 次测量数据的平均值。

在IIMT-3 型显微硬度计上测试涂层表面和断面的显微硬度,载荷为100g,加载时间为15s。试 样测试前按金相制样标准对检测面进行研磨和抛 光。表面和断面的平均显微硬度值取10次测量的 平均值。

涂层的结合强度测定按照GB9796-88 标准进

收稿日期:2006-01-10;修回日期:2006-01-18

基金项目:*国防科技重点实验室基金资助(51489020405JS9101) 作者简介:王建(1976-),男(汉),辽宁大连人,工学硕士。

行,采用E-7 胶将涂层试样与喷砂后的 45[#]钢对偶件 粘接,经固化后,通过WE-100 万能材料试验机测 定涂层的结合强度,每种涂层的结合强度值均为 3 个测试数据的平均值。

使用 Quanta 200 型扫描电镜(SEM)分析喷涂用 粉末形貌、涂层的形貌特征,使用 GENESIS 型 X 射线能谱仪(EDS)分析涂层局部成分。

摩擦磨损试验采用国产济南材料试验机厂生 产的MM-200 磨损试验机改装机。耐磨性试验参数 为:载荷(400 N)、摩擦速度(400 r/min)、润滑油(20[#] 机油润滑,5~10 滴/min)、试样浸油时间(24 h)、磨 损时间(2 h)、温度(室温)。

- 2 试验结果与讨论
- 2.1 粉末 SEM 形貌

图 1 为 Mo、NiCrBSi、Ni/C、QSn6-6-3 粉末 的 SEM 形貌,从图中可以看出,Mo、Ni/C 粉末形 貌为近球形,为烧结团聚制成;NiCrBSi 粉末形貌 成圆球形状,为熔融雾化制成。3 种粉末的颗粒都 比较均匀,这为喷涂中粉末能均匀送入和充分熔化 及涂层的致密性提供了很好的保证。由于目前很少 有商品化的等离子喷涂专用 QSn6-6-3 粉末,试验 采用冶炼破碎的不规则形状的 QSn6-6-3 粉末,给 喷涂送粉、保证涂层质量等带来一定困难。

表 1 喷涂粉末化学成分

Table 1 Chemical composition of powder											
喷涂材料	Mo/%	Fe/%	Cr/%	B/%	Si/%	Ni/%	C/%	Sn/%	Zn/%	Pb/%	Cu/%
Мо	>99										
NiCrBSi		< 5.0	15.0-20.0	3.0-4.5	3.5-5.5	余量	0.5-1.1				
Ni/C						78	余量				
QSn								6	6	3	余量



(a) Mo 粉末



 (b)NiCrBSi 粉末
 (c)Ni/C 粉末

 图 1
 粉末 SEM 形貌

Fig.1 SEM morphology of powders



(d)QSn6-6-3 粉末

2.2 涂层的常规性能

图 2 为 NiCrBSi+30 % Mo、QSn6-6-3+30 % Ni/C 涂层断面形貌。从图中可以看出,涂层结合紧密, 没有明显的分层、裂纹和大的空洞。表 2 为涂层的 孔隙率、结合强度、显微硬度测试结果。从表中可 以看出,涂层孔隙率小,涂层致密;涂层与基体结 合强度高。这与高效能超音速等离子喷涂速度高、 粉末融化状态好等特点密不可分。

2.3 涂层摩擦磨损性能

图 3、4 分别为喷涂涂层前后摩擦副的时间--摩 擦因数曲线。从图中可以看出,涂层的摩擦因数明 显小于基体材料的摩擦因数。表 3 为两种摩擦副在 相同条件下的平均摩擦因数与各自的磨损量。从表 中可以看出,涂层摩擦副的摩擦因数小,平均摩擦 因数 0.0043 仅为 18Cr2Ni4WA-ZQPb30 的 1/2,磨 损量也小,仅为 18Cr2Ni4WA-ZQPb30 的 1/10。这



(a) NiCrBSi-Mo 涂层 × 200 (b) QSn-Ni/C 涂层 × 200
 图 2 两种涂层断面 SEM 形貌

Fig.2 SEM cross-section morphology of coatings

王建等:NiCrBSi-Mo与QSn-Ni/C涂层摩擦副摩擦磨损性能研究

涂层的孔隙率、结合强度、显微硬度测试结果

Table 2 Porosities, bonding strength and microhardness of coatings涂层孔隙率/%显微硬度/HV_{0.1}结合强度/MPaNiCrBSi +30 %Mo0.82965.262.2QSn6-6-3+30 %Ni/C0.76326.828.9



表 2



Fig.3 Friction coefficients of 18Cr2Ni4WA and ZQPb30 as a friction pair



表 3 平均摩擦因数与磨损量

Table 3	Friction	coefficients	and	wear	lost
Table 5	THELIOIT	coefficients	anu	wear	1051

组别	上方形试验件	下圆环试验件	平均摩擦因数	上试件磨损量/mg	下试件增重量/mg
1	ZQPb30	18Cr2Ni4WA	0.0093	18.5	12.6
2	QSn-Ni/C 涂层	NiCrBSi-Mo 涂层	0.0043	1.3	0.8





与固体润滑剂Mo与石墨的添加有关。涂层摩擦学性 能优异的原因要从摩擦学过程来讨论:刚开始涂层 表面不是很光滑,温度升高,表面的凸点逐渐融化 或氧化或硬化,随着摩擦磨损进行,NiCrBSi-Mo 涂层表层Mo被氧化,生成MoO₂,Mo与油中S的反应生成MoS₂,在NiCrBSi-Mo涂层表面形成MoO₂-MoS₂润滑膜,起到自润滑和保护的作用,同(下转第 39 页)

(上接第 35 页)

时,QSn6-6-3+30%Ni/C涂层中Pb处于金属态,与 C在QSn6-6-3+30%Ni/C涂层表面形成Pb-C润滑 膜,在两种润滑保护膜之间形成油润滑膜。3种润 滑膜相互作用大大降低了摩擦因数,减少了磨损。 一旦温度升高,油润滑膜被破坏,则MoO2-MoS2润 滑膜与Pb-C润滑膜仍起着润滑与保护的作用。加入 自润滑材料的量不宜过多,文献^[3]表明固体润滑剂影 响锡青铜基自润滑复合材料的机械与摩擦学性能, 随着固体润滑剂加入量的提高,复合材料的机械性 能明显变差,而摩擦学性能得到改善。所以加入石 墨量不宜过多。

图 5 为 NiCrBSi+30 %Mo 摩擦磨损 120 min 后 形貌及黑点处能谱。从图中可以看出,涂层的磨损 机制主要是以磨粒磨损为主。这可能是以下几点原 因引起的: 试件加工表面粗糙度较大,容易在 磨合阶段形成磨粒。 磨擦产生热量,促使磨屑 生成氧化物等硬质磨粒。 磨粒引起摩擦副之间 典型的磨粒磨损。

从图 5 能谱可以看出图中黑点含有较高的 C-O 成分,这是涂层中微孔存储的油。从图 5 中还可进 一步看出,油迹左侧的滑痕经过储油孔后明显减 轻,表明微孔储油作用可以很好的减轻磨粒磨损, 这是涂层耐磨性能优异的另一个原因。

3 结 语

超音速等离子喷涂制备的 NiCrBSi-Mo、QSn-Ni/C 涂层致密, 孔隙率低, 结合强度高。NiCrBSi-Mo 与 QSn-Ni/C 涂层摩擦副摩擦因数小, 平均摩擦 因数 0.0043 仅为 18Cr2Ni4WA-ZQPb30 的 1/2, 磨 损量也小, 仅为 18Cr2Ni4WA-ZQPb30 的 1/15。表 现出较好的摩擦学性能。

参考文献:

- [1] 王海军,刘向平,张平,等.高效能超音速等离子 喷涂技术 [J].新技术新工艺,2004,12:25-26.
- [2] 王海军,潘荣辰,韩志海. 超音速等离子喷涂 Mo-30% NiCrBSi 涂层耐磨性能研究 [J]. 金属热处理, 2005,30(5):17-20.
- Wang B Q, Luer K, The erosion-oxidation behavior Of HVOF Cr₃C₂-NiCr cermet coating [J]. Wear, 1994 (174): 177-185.
- [4] 王静波, 吕晋军, 宁莉萍, 等. 锡青铜基自润滑材料的 摩擦学特性研究 [J]. 摩擦学学报, 2001,21(2): 110-113.

作者地址:辽宁大连市解放军 65545 部队 116200 Tel: (010) 66717880; 13311321637 E-mail: lnjianwang@126.com