

坡缕石对三元硼化物陶瓷涂层磨损性能的影响

时海芳, 郜世喜, 李智超

(辽宁工程技术大学 材料加工与表面技术研究所, 阜新 123000)

[摘 要] 采用热化学反应热喷涂技术,向骨料中加入坡缕石制得喷涂喂料粉末,在 Q235 钢表面制备含坡缕石的三元硼化物陶瓷涂层,观察了涂层的显微组织,测试了涂层的耐磨性能,分析了坡缕石对三元硼化物陶瓷涂层显微组织和耐磨性的影响。结果表明:坡缕石的添加,使得涂层变得致密且具有一定减摩效果;坡缕石的添加量占骨料总质量的 2% 时,所得三元硼化物陶瓷涂层的耐磨性比未加坡缕石时平均提高 4 倍。

[关键词] 三元硼化物陶瓷涂层;坡缕石;耐磨性

[中图分类号] TG174.453

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2012)01-0041-03

Effect of Palygorskite on Wear Performance of Mo_2FeB_2

SHI Hai-fang, GAO Shi-xi, LI Zhi-chao

(Institute of Materials Processing and Surface Technology, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

[Abstract] Spraying feeding powder was produced through adding palygorskite. Ternary boride ceramic coating containing palygorskite was prepared by thermochemical reactive thermal spraying on Q235 steel substrate. The microstructure of coating was observed, and the wear-resistance performance of coating was tested. The influence of palygorskite on microstructure and wear-resistance of ternary boride ceramic coating was analyzed. The results show that coating become compact and anti-friction because of adding palygorskite. When the adding dosage of palygorskite is 2% of the total aggregate quality, the abrasion resistance of coating has increased 4 times averagely than the coating without palygorskite.

[Key words] ternary boride ceramic coating; palygorskite; abrasion resistance

三元硼化物金属陶瓷(Mo_2FeB_2)具有硬度高、耐磨性好、抗疲劳、抗热冲击性能好等一系列优良性能,并且在温度超过 650 °C 后,强度和硬度还能保持较高的值,具有重要的实用价值和战略意义^[1-2]。同时,它还具有与钢相近的密度和热膨胀系数,在钢基体上制备涂层产生的热应力小,是用作耐磨覆层的理想材料^[3]。

坡缕石又名凹凸棒石,是一种富镁粘土矿物,在我国储量丰富,由于链层状的晶体结构及内部存在大量沸石孔道,因而具有类似于石墨的物理性质,国内已有一些学者将坡缕石粉添加到润滑油中以改善和提高润滑油的性能^[4]。但是将坡缕石添加到陶瓷涂层中,国内外还鲜有报道。文中采用热化学反应热喷涂技术,在 Q235 钢表面成功制备添加了坡缕石的三元硼化物陶瓷覆层,研究了涂层的组织和耐磨性,以及坡缕石的添加对此种涂层耐磨性能的影响。

1 实验

1.1 实验粉料

所用喷涂粉末均由成都核八五七新材料有限公司提供。钼粉的平均粒度为 3.76 μm ,松装密度为 2.14 g/cm^3 ,其化学组成(以质量分数计,后同)如下:Mo 高于 99.95%,0.002% Si,0.005% Ni,0.009 5% C,0.008% O,0.002% S,0.007% Fe,0.008% Al,0.003% Cu。微米级羰基铁粉的平均粒度为 4.98 μm ,松装密度为 2.67 g/cm^3 ,其化学组成为:Fe 高于 99.5%,C 低于 0.05%,O 低于 0.3%,N 低于 0.001%。硼铁粉的平均粒度为 4.37 μm ,松装密度为 2.29 g/cm^3 ,其化学组成为:19.66% B,0.95% Si,0.41% C,0.002% S,Fe 余量。

按照钼粉、硼铁合金粉以及羰基铁粉的质量比为

[收稿日期] 2011-08-16; **[修回日期]** 2011-09-18

[基金项目] 辽宁省一般项目(L2010160)

[作者简介] 时海芳(1968—),男,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为金属材料及表面改性技术。

48:32:20 配骨料。坡缕石由河北省灵寿县灵泽矿产品加工厂提供,添加量分别为骨料总质量的 1%, 2%, 3%, 4%, 5%。采用聚乙烯醇缩丁醛(PVB)的无水乙醇溶液作为粘结剂,分别在混合均匀的六组骨料中加入适量的粘结剂形成团聚颗粒,经 101-1 型电热鼓风恒温干燥箱 100 ℃ 烘烤 2 h 后,进行机械研磨破碎,经筛分得到复合喷涂要求的喂料粉末。

1.2 制样及测试

基材为 20 mm×20 mm×4 mm 的 Q235 钢(后文中称为 JT)。利用 QH-2/h 型氧-乙炔火焰喷枪将喂料粉末均匀地涂覆在基材表面,并用火焰加以重熔处理。喷涂时,氧气压力为 0.6~0.8 MPa,乙炔压力为 0.10~0.12 MPa。后文中称未加坡缕石成分的涂层试样为 P0,添加坡缕石成分的涂层试样按照添加量依次为 P1, P2, P3, P4, P5。

用 SSX-550 型扫描电子显微镜观察涂层的显微组织,用 D/max-2500VL/PC 型 X 射线衍射仪分析涂层的相组成,用 DEY-60 型拉伸试验机测试涂层与基体的粘结强度。涂层的耐磨性测试在 M-200 型磨损试验机上进行。磨损前,将试样进行粗磨、精磨、清洗和干燥,并用 FA1104N 型电子天平称取试样质量。采用干摩擦方式,做 3 组摩擦实验,实验条件见表 1,对偶摩擦环均为 62~64 HRC 的 GCr15 轴承钢,转速 400 r/min。磨损后,将试样进行清洗、干燥,并称取质量,算出质量损失。

表 1 磨损实验条件

Tab.1 Wear test condition

实验	载荷/kg	磨损时间/min	磨轮直径/mm
第 1 组	30, 40, 50	10	35
第 2 组	40	10, 15, 20	35
第 3 组	40	10	35, 40, 45

2 结果与讨论

2.1 涂层的物相及显微组织分析

P0 和 P2 涂层经过 X 射线衍射分析,如图 1 所示,发现均含有 Mo_2FeB_2 相。P0 中出现了 FeO 和 Fe_2O_3 相,是由于 Fe 粉在喷涂过程中发生氧化的缘故。P2 中 FeO 消失,出现 MoO_2 ,可能是由于坡缕石的添加,使得喂料中的元素更加容易被氧化,一部分 Mo 被氧化生成了 MoO_2 ,而 Fe 被氧化成 Fe_2O_3 。另外,P2 中还检测出的 $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ 和 CaO ,是坡缕石在喷涂过程中高温分解生成的。

图 2 为 P0 和 P2 涂层的 SEM 图片。图 2b 中可以明显看到大量的 Mo_2FeB_2 硬质合金相,硬质相呈方

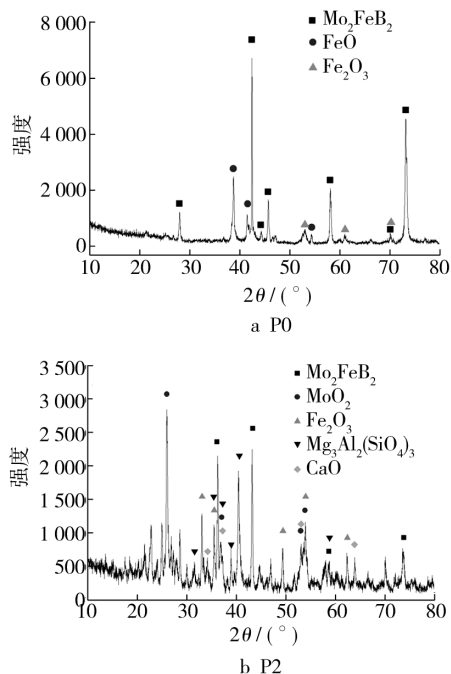


图 1 P0 和 P2 涂层的 XRD 衍射图

Fig. 1 X-ray diffraction pattern of P0 and P2 coatings

块状,均匀地分布于涂层表面,而图 2a 中呈方块状的 Mo_2FeB_2 硬质合金相没有图 2b 中的多。此外,从整体形貌上看,P0 涂层含有较多孔隙,没有 P2 致密。图 2a 和 b 中还可见到熔融状的粘结相,这是由于 Mo-Fe-B 反应体系是放热反应,在火焰喷涂过程中会放出大量的热,加之喷涂火焰的温度很高,使得反应过程中一些 Fe 粉熔化,填充在涂层间隙处,氧化后成为涂层的粘结相。

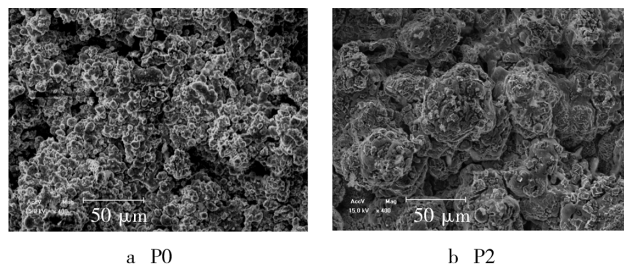


图 2 P0 和 P2 涂层的 SEM 照片

Fig. 2 SEM micrograph of P0 and P2

2.2 涂层粘结强度

采用对接法测试了涂层的粘结强度,结果见表 2。

表 2 涂层粘结强度

Tab.2 Adhesive strength of coatings

涂层	P0	P1	P2	P3	P4	P5
粘结强度/MPa	16.05	17.48	17.22	17.04	16.67	16.31

2.3 粘着磨损性能分析

图 3 为 6 组试样及基体 Q235 钢在不同磨损条件下的质量损失曲线。由图 3 可以看出,随着载荷增加、时间延长、磨轮直径增大,6 组试样及基体试样的质量

损失都增大,涂层试样质量损失的增幅明显小于 Q235 钢基体,且 P2 的质量损失总体最小。另外,从图 3 还可以看出,P1 的曲线与 P2 相接近,耐磨性相差不多,当坡缕石的添加量达到 4%(P4)时,涂层的耐磨性已无显著提高,甚至出现了恶化迹象。此外,6 组涂层试样的曲线走势并未随着磨损条件的改变而产生很大起伏,说明磨损条件对涂层耐磨性的影响很小,而真正对涂层耐磨性产生影响的是坡缕石的含量。由于坡缕石链层状的晶体结构,使其具有类似于石墨一样的物理特性,坡缕石的添加使得三元硼化物陶瓷涂层具备了一定的减摩效果,但是过量添加会造成涂层性能的下降。

3 结论

- 1) 添加坡缕石会使三元硼化物陶瓷涂层更加致密。
- 2) 添加坡缕石的三元硼化物陶瓷涂层,其耐磨性受坡缕石含量的影响很大,合适的添加量约为骨料总质量的 2%。
- 3) 添加坡缕石的三元硼化物陶瓷涂层比普通三元硼化物陶瓷涂层更加耐磨,综合测试条件,耐磨性平均提高 4 倍。

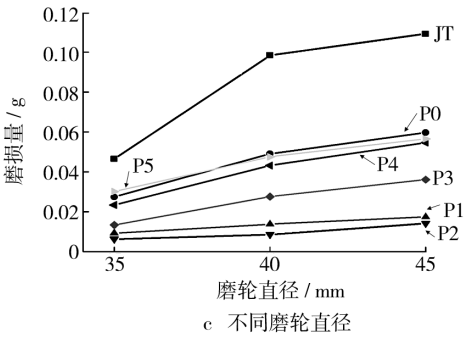
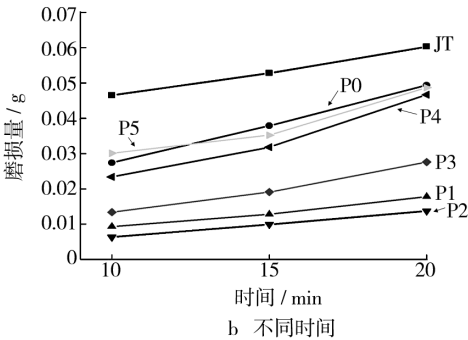
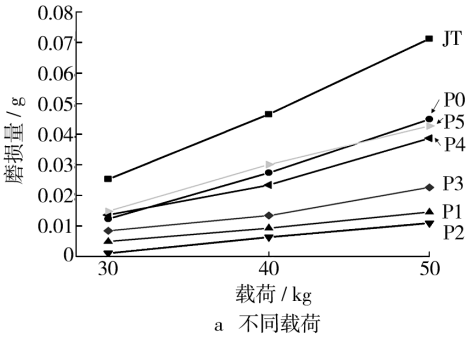


图 3 试样在不同磨损条件下的质量损失曲线
Fig. 3 Mass loss curve of sample under different conditions

通过图 3 可知:在 50 kg 载荷下,P2 的质量损失是 P0 的 1/4.1,Q235 钢的 1/6.5;在磨损 20 min 后,P2 的质量损失是 P0 的 1/4.2,Q235 钢的 1/5.1;在 45 mm 磨轮直径条件下,P2 的质量损失是 P0 的 1/3.7,Q235 钢的 1/8.4。

[参 考 文 献]

[1] 潘应君,徐金龙,周青春. Mo₂FeB₂ 金属陶瓷-钢覆层材料的制备及性能研究[J]. 热加工工艺,2007,36(2):1-6.
[2] 周小平,胡心彬,王钰. H13 钢表面反应火焰喷涂三元硼化物金属陶瓷涂层的组织和性能[J]. 中国表面工程,2009,22(2):49-52.
[3] TAKAGI K, KOMAI M, MATSUO S. Development of Ternary Boride Base Ceramics[C]// Powder Metallurgy Proceeding of World Congress Paris; European Powder Metallurgy Association,1994:227.
[4] 马壮,郜世喜,李智超. 坡缕石性能及其应用现状[J]. 硅酸盐通报,2011,30(3):503-507.