

钛合金表面镍包石墨喷涂层的耐磨性能

杨胜群 孟庆武 耿林 吴林 陈彦宾

(哈尔滨工业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

文 摘 为了提高钛合金的表面耐磨性,利用氧乙炔热喷涂枪,在 TC4合金表面上制备出镍包石墨涂层。采用 MXP-2000型销盘式摩擦磨损试验机,进行钛合金及其镍包石墨涂层的干摩擦磨损实验,并利用扫描电镜对磨损表面进行观察和分析。实验结果发现,镍包石墨涂层的摩擦系数只有钛合金的一半左右,前者磨损量为后者的 1/6,说明镍包石墨涂层可以大大提高钛合金的表面耐磨性能。TC4合金的磨损机制以黏着磨损为主,喷涂层的磨损机制以磨粒磨损为主,喷涂层中的石墨润滑相是其耐磨性高的主要原因。

关键词 钛合金,热喷涂涂层,耐磨性能,镍包石墨

Wear Resistance of Thermal Spraying Nickel-Coated Graphite Layer on Titanium Alloy

Yang Shengqun Meng Qingwu Geng Lin Wu Lin Chen Yanbin

(School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract In order to improve wear resistance of titanium alloy, by using an acetylene blow torch of thermal spray apparatus, a process of thermal spraying nickel-coated graphite layer on TC4 alloy substrate is carried out. An MXP-2000 type pin-on-disc wear tester is used to test the dry sliding friction behavior of TC4 alloy and nickel-coated graphite layer. The morphology of worn surface is examined by using a scanning electron microscope. The results of experiments indicate that the friction coefficient of nickel-coated graphite layer is a half of that of titanium alloy and wear loss of nickel-coated graphite layer is one sixth of that of titanium alloy. It means that nickel-coated graphite layer can greatly improve wear resistance of titanium alloy. The wear mechanism of titanium alloy is adherence wear and the wear mechanism of nickel-coated graphite layer is particle wear. The lubricant graphite in thermal spraying layer plays an important role for wear resistance improvement.

Key words Titanium alloy, Thermal spraying layer, Wear resistance, Nickel-Coated graphite

0 引言

钛合金具有很高的比强度、很强的耐腐蚀性,优良的高、低温性能,广泛用于航空航天工业中。钛合金的摩擦系数大、耐磨性差^[1],极大地限制了其在工程上的应用。多年来,材料工作者对提高钛合金耐磨性的表面涂层技术进行了广泛研究^[2-3]。热喷涂技术是表面涂层技术的一种,它利用高温火焰将粉末熔化喷射到金属表面上,再冷却凝固形成涂层^[4]。采用热喷涂技术可以制备很厚的涂层,因此其被广泛用

来制备耐磨涂层。

减轻磨损的有效途径就是降低对磨表面的摩擦系数。在减磨材料中,石墨是一种优良的固体润滑剂。包含有石墨成分的对磨表面通过石墨的自润滑作用,可以降低材料的磨损^[5]。镍包石墨是一种以石墨为核心,表面包裹金属镍的双组份粉末材料^[6]。本文在 TC4合金表面上制备出镍包石墨涂层,进行钛合金及其镍包石墨涂层的干摩擦磨损实验,研究镍包石墨涂层的耐磨性能。

收稿日期:2006-07-03;修回日期:2006-10-19

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划基金(NCET-04-0324)

作者简介:杨胜群,1970年出生,博士,主要从事材料表面改性技术等方面的研究工作

1 实验

1.1 材料

采用 TC4 (Ti-6Al-4V) 合金轧制棒材, 用线切割机制成 30 mm × 20 mm 的试样。试样待喷涂表面经水砂纸磨削加工平整, 喷涂前进行喷丸处理。热喷涂原材料采用镍包石墨复合粉末, 其化学成分为 20% (质量分数) C 和 80% (质量分数) Ni, 粒度为 50 ~ 80 μm。喷涂前, 镍包石墨粉末在 150 °C 烘箱中烘 2 h。

1.2 热喷涂工艺

采用美国 TS-5 型高速氧乙炔喷涂枪, 其工艺参数为: 氧气 0.45 MPa, 乙炔 0.5 MPa, 压缩空气 0.4 MPa。热喷涂过程中, 采用调整气压和送粉量大小来控制涂层质量。

1.3 摩擦磨损实验

热喷涂后的试样及对比实验用的 TC4 合金用线切割机加工成销棒状, 尺寸均为 5 mm × 20 mm。采用 MXP-2000 型摩擦磨损试验机, 对磨形式为销盘式。对磨盘采用 YG8 硬质合金, 对磨盘的直径为 34 mm, 厚度为 10 mm。

实验时的法向载荷为 100 N, 滑动速度为 1 m/s, 总滑动距离为 100 m, 每间隔 10 m 采集一个数据点, 绘制摩擦系数与滑动距离的关系曲线。用感量为 10⁻⁴ g 的分析天平称量试样磨损前后的质量, 计算磨损量。采用 S-3000 型 SEM 对磨损表面进行观察。

2 结果与分析

2.1 喷涂层的宏观形貌

喷涂层宏观形貌见图 1。

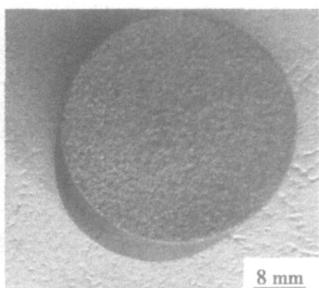


图 1 喷涂层的宏观形貌

Fig 1 Morphology of thermal spraying layer

喷涂层的质量与热喷涂过程中镍包石墨粉末的熔化程度有关。当粉末在火焰气流中停留时间过短时, 粉末表层的金属镍未充分熔化, 撞击钛合金基底时的附着力小, 形成的涂层不致密。当粉末在火焰气流中停留时间过长时, 镍烧损比较严重, 剩余的液态镍不足以包裹固相石墨, 造成石墨颗粒撞击钛合金基底时的附着力同样小, 易飞溅出去, 形成的涂层仍不致密。可通过调整气压和送粉量, 使得镍包石墨粉的

宇航材料工艺 2007年 第3期

外表层镍大部分熔化, 且仍然包裹住固相石墨, 从而保障了喷涂液滴的附着力, 得到质量良好的喷涂层。

2.2 喷涂层的微观组织

通过 SEM 对喷涂层的微观组织进行观察 (图 2), 可以看出, 热喷涂的镍包石墨粉末熔化完全, 涂层比较致密, 灰色的镍基体里弥散地分布着黑色的石墨颗粒。石墨与镍基体的界面浸润良好, 涂层与下部钛合金基底的界面处无裂纹和气孔, 也未发现氧化物, 说明涂层和基底的结合状态良好。

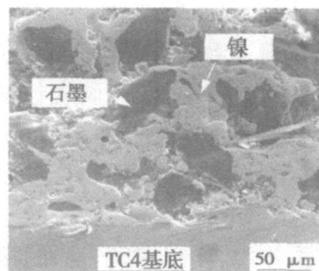


图 2 喷涂层的微观组织

Fig 2 Microstructure of thermal spraying layer

2.3 摩擦系数和磨损量

图 3 示出在滑动距离为 100 m 条件下, TC4 合金和镍包石墨喷涂层两种材料的摩擦系数与滑动距离的关系曲线, 由图可以看出, 在起始阶段摩擦系数较小, 随着磨损的进行, 摩擦系数迅速增大, 经过一段预磨期后, 曲线逐渐平稳。这是由于在摩擦初始阶段, TC4 合金的表面粗糙度很小, 因而摩擦系数较小。随着磨损的进行, 两个对磨面的粗糙度逐渐加大, 摩擦系数随之增大。经过一定阶段的预磨期后, 两个对磨面的粗糙度不再增大, 摩擦进入一个稳定阶段, 摩擦系数波动很小。由于镍包石墨涂层中含有石墨颗粒, 它使两个对磨面始终处于稳定摩擦状态。

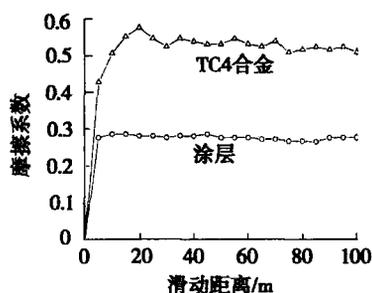


图 3 TC4 合金和喷涂层的摩擦系数与滑动距离的关系曲线

Fig 3 Friction coefficient of TC4 alloy and thermal spraying layer vs sliding distance

在稳定磨损阶段, TC4 合金与镍包石墨喷涂层的平均摩擦系数分别为 0.53 左右和 0.28 左右, 后者约

为前者的 1/2。经过 100 m 滑动距离后, TC4 合金的磨损量为 11.5 mg, 镍包石墨喷涂层的磨损量为 1.8 mg, 后者约为前者的 1/6。镍包石墨喷涂层的摩擦系数和磨损量均大大小于 TC4 合金。

2.4 磨损机理分析

由图 4 可以看出, 在干摩擦状态下, TC4 合金的表面布满了剥层撕裂的痕迹。由于 TC4 合金的硬度较低 (HV 300 ~ 400), 塑性较高, 在对磨盘的摩擦作用下, TC4 合金的磨损机制以黏着磨损为主, 表现为大块剥层撕裂, 因而材料损失大。由图 5 可以看出, 喷涂层的表面布满了磨粒犁削和轻微的塑性变形痕迹。这是由于在喷涂层中, 镍的硬度较高 (HV 800 ~ 900), 摩擦表面的塑性变形受到限制, 造成镍包石墨喷涂层的磨损机制以磨粒磨损为主。而且在干摩擦磨损过程中, 虽然干摩擦表面有微小的塑性变形, 但由于石墨的润滑作用, 使得对磨表面的接触点处不易产生黏着, 表现为犁削破碎, 磨损量很小。

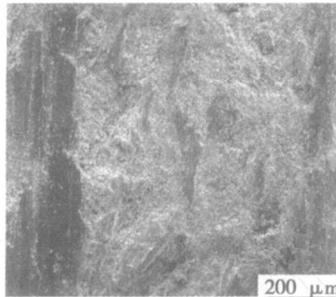


图 4 TC4 合金的磨损表面形貌
Fig 4 Worn surface of TC4 alloy

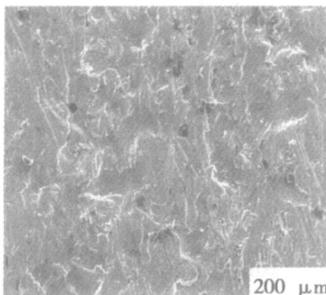


图 5 喷涂层的磨损表面形貌
Fig 5 Worn surface of layer

3 结论

(1) 以镍包石墨粉为原材料, 在 TC4 合金表面上制备出质量良好的热喷涂涂层。涂层组织中, 石墨颗粒弥散地分布于镍基体里, 二者之间的高结合强度使得石墨颗粒在磨损过程中不会脱落下来。

(2) TC4 合金的平均摩擦系数为 0.53 左右, 镍包石墨喷涂层的平均摩擦系数为 0.28 左右, 后者约为前者的 1/2。而且, 在摩擦初始阶段, TC4 合金的摩擦系数波动较大, 喷涂层的摩擦系数基本稳定。

(3) 经过 100 m 滑动距离后, TC4 合金的磨损量为 11.5 mg, 镍包石墨喷涂层的磨损量为 1.8 mg, 后者约为前者的 1/6, 说明镍包石墨喷涂层具有很高的耐磨性。

(4) TC4 合金的磨损机制以黏着磨损为主, 其表现为大块剥层撕裂, 磨损量大。镍包石墨喷涂层的磨损机制以磨粒磨损为主, 喷涂层中的石墨润滑相是其耐磨性高的主要原因。

参考文献

- 1 Straffelini G, Molinari A. Dry sliding wear of Ti - 6Al - 4V alloy as influenced by the counterface and sliding conditions. *Wear*, 1999; 236: 328 ~ 338
- 2 孙荣禄, 郭立新, 董尚利等. 钛及钛合金表面耐耐热处理. *宇航材料工艺*, 1999; 29(5): 15 ~ 19
- 3 Meng Qingwu, Geng Lin, Ni Dingrui. Laser cladding NiCrAlY coating on Ti - 6Al - 4V. *Materials Letter*, 2005; 59: 2774 ~ 2777
- 4 Rodriguez J, Martyn A, Fernandez R et al. An experimental study of the wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings. *Wear*, 2003; 255: 950 ~ 955
- 5 Ghorbani M, Mazaheri M, Afshar A. Wear and friction characteristics of electrodeposited graphite bronze composite coatings. *Surface & Coatings Technology*, 2005; 190: 32 ~ 38
- 6 李锐星, 梁焕珍, 喻克宁等. 制备细镍包石墨粉末的动力学. *有色金属*, 2002; (5): 37 ~ 42

(编辑 吴坚)