

文章编号: 1001-3806(2007)05-0473-03

钛合金表面激光熔覆涂层的耐磨性能

杨胜群¹, 孟庆武^{2*}, 耿林¹, 吴林¹, 李爱滨¹

(1. 哈尔滨工业大学 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001; 2. 大庆石油学院, 大庆 163318)

摘要: 为了提高钛合金的表面耐磨性能, 采用 MXP-2000 型销盘式摩擦磨损实验机, 以镍包石墨粉末为原材料, 利用 CO₂ 激光器在 TC4 合金表面上熔覆耐磨涂层, 进行钛合金及激光熔覆涂层的干摩擦磨损实验, 并用扫描电镜对磨损表面进行观察和分析。实验结果表明, 激光熔覆涂层的摩擦系数为 0.56, 与钛合金的摩擦系数基本相同, 但激光熔覆涂层的磨损失重量比钛合金低接近一个数量级, 说明激光熔覆涂层可以大大提高钛合金的表面耐磨性能。TC4 合金的磨损机制以粘着磨损为主, 激光熔覆涂层的磨损机制以磨粒磨损为主, 涂层的高硬度加上涂层里的 TiC 增强相是其耐磨性高的主要原因。

关键词: 材料; 耐磨性能; 激光熔覆涂层; 镍包石墨

中图分类号: TG665 **文献标识码:** A

Wear resistance of laser cladding coating on to titanium alloy substrate

YANG Sheng-qun¹, MENG Qing-wu², GENG Lin¹, WU Lin¹, LI Ai-bin¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China)

Abstract: In order to improve wear resistance of titanium alloy, a CO₂ laser was used to clad coating onto TC4 alloy substrate with pre-placed nickel-coated graphite powder. An MXP-2000 type pin-on-disc wear tester was used to test the dry sliding friction behavior of titanium alloy and laser cladding coating. The morphology of worn surface was examined using a scanning electron microscope. The results of experiments indicate that the friction coefficient of laser cladding coating is 0.56, which is close to that of titanium alloy. Worn loss of the coating is one tenth of that of titanium alloy. It means that laser cladding coating can greatly improve wear resistance of titanium alloy. The wear mechanism of titanium alloy is adherence wear and the wear mechanism of laser cladding coating is particle wear. High hardness with TiC strengthen phase in it make the coating possess high wear resistance.

Key words: materials; wear resistance; laser cladding coating; nickel-coated graphite

引 言

钛合金具有很高的比强度、很强的耐腐蚀性、优良的高温 and 低温性能, 是航空和航天工业广泛使用的高性能材料。但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范围。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, 如电镀^[2]、热喷涂^[3]、激光淬火^[4,5]等。激光熔覆技术是表面涂层技术的一种, 其利用高能激光束将粉末原材料熔凝到金属表面上, 得到不同于母材的增强涂层^[6]。用激光在钛合金表面熔覆一层增强涂层,

能够显著提高其耐磨性能。

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^[7]。在激光熔覆过程中, 镍包石墨粉末中的石墨由于有镍的包裹, 避免了激光束高温下的烧损, 可望得到良好的耐磨涂层。而且, 镍包石墨中的 C 和 Ti 能发生反应, 生成 TiC 硬质增强相^[8], 有利于提高涂层的耐磨性能。因此, 本文中采用镍包石墨粉末作为原材料, 在 TC4 合金表面上激光熔覆耐磨涂层, 并进行钛合金及激光熔覆涂层的干摩擦磨损实验, 研究涂层的磨损机理, 为钛合金的耐磨涂层技术研究提供理论指导。

1 实验材料与实验方法

1.1 材料体系

基底材料采用 TC4 (Ti-6Al-4V) 合金轧制棒材。原材料用线切割机制成 $\varnothing 30\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的圆柱状试样, 试样激光熔覆表面经水砂纸磨削加工平整, 去除氧

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目 (NCET-04-0324)

作者简介: 杨胜群 (1970-), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事材料表面改性技术方面的研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: qingwumeng523@yahoo.com.cn

收稿日期: 2006-07-07; 收到修改稿日期: 2006-09-12

化层。激光熔覆原材料采用镍包石墨复合粉末。镍包石墨粉末化学成分是:质量分数为 0.2 的 C 和 0.8 的 Ni。粉末形貌为不规则颗粒状,粒度范围为 $50\mu\text{m} \sim 80\mu\text{m}$ 。将镍包石墨粉末用有机粘合剂(聚乙烯醇)混成膏剂,均匀涂在钛合金试样表面,并在 90C 下烘干 2h。粉末预涂层厚度约为 0.8mm 。

1.2 激光熔覆工艺

激光熔覆试验采用 CO_2 激光器。选定激光熔覆工艺参数为:激光器输出功率 750W ,光斑直径 3mm ,扫描速度为 5mm/s 。选定好激光工艺参数,对预涂层进行激光熔覆。

1.3 涂层组织分析

激光熔覆后的试样沿涂层横截面切开,经过磨制和抛光,通过扫描电子显微镜和能谱仪对涂层进行组织分析。硬度测试采用 HVS-1000 型显微维氏硬度计,所用载荷为 0.2kg ,加载保持时间为 15s 。

1.4 摩擦磨损实验

激光熔覆后的试样用线切割机加工成销棒状,直径为 $\varnothing 5\text{mm}$,高度为 20mm 。对比实验用的 TC4 合金也加工成相同尺寸试样。摩擦磨损实验采用 MXP-2000 型摩擦磨损实验机,对磨形式为销盘式,见图 1。对磨盘采用 YG8 硬质合金,对磨盘的直径为 $\varnothing 34\text{mm}$,厚度为 10mm 。

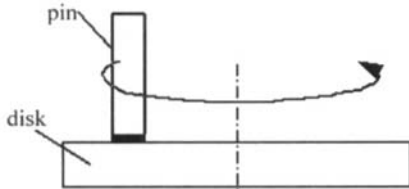


Fig 1 Schematic illustration of pin-on-disk friction wear

实验时的法向载荷值选为 100N ,滑动速度为 1m/s ,总滑动距离为 100m ,每间隔 10m 滑动距离采集一个数据点,绘制摩擦系数与滑动距离的关系曲线。用感应量为 10^{-4}g 的分析天平称量试样磨损前后的重量,计算磨损失重量。采用 S-3000 型扫描电子显微镜对磨损表面进行观察和分析。

2 实验结果与分析

2.1 涂层组织与硬度

图 2 中给出 TC4 合金表面激光熔覆涂层的微观组织。由图可见,涂层的组织比较均匀,在灰色基体上布满了颗粒状的增强相,增强相尺寸小于 $5\mu\text{m}$ 。能谱仪数据分析表明,灰色基体为固溶了少量 Ti 的 Ni,增强相为新生成的 TiC,涂层中未发现石墨相的存在。

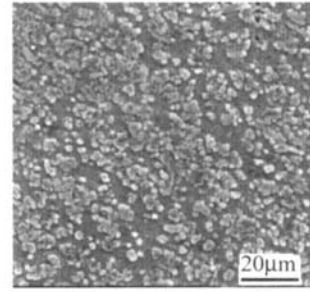


Fig 2 Microstructure of laser cladding coating

由此可以判断出,在激光熔覆过程中,预涂材料中的 C 元素与 TC4 基底中的 Ti 元素发生了化学反应,在涂层中原位生成了 TiC 相。

由于激光熔覆涂层的 Ni 基体硬度很高,涂层中又含有大量的 TiC 硬质增强相,必然使得涂层的硬度达到很高。经显微维氏硬度计测试,激光熔覆涂层的平均硬度达到 HV1100 左右,大约是基底 TC4 合金硬度 (HV350) 的 3 倍。如此高的硬度必然提高涂层的耐磨性能。

2.2 摩擦系数和磨损量

图 3 示出在滑动距离为 100m 条件下,TC4 合金和激光熔覆涂层两种材料的摩擦系数与滑动距离的关系

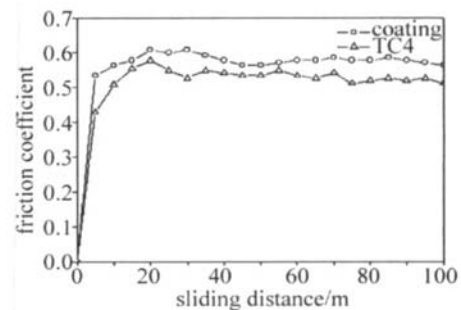


Fig 3 Friction coefficient of TC4 alloy and the coating with sliding distance

曲线。由图中摩擦系数的曲线变化可以看出,在起始阶段两种材料的摩擦系数较小,随着磨损的进行,摩擦系数逐渐增大,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,试样的表面粗糙度很小,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。

在稳定磨损阶段,TC4 合金的平均摩擦系数为 0.53 左右,激光熔覆涂层的平均摩擦系数为 0.56 左右,两者数值基本接近。经过 100m 滑动距离后,TC4 合金和激光熔覆涂层的磨损失重量参见表 1。TC4 合金的平均磨损失重量为 0.0115g ,激光熔覆涂层的平均磨损失重量为 0.0012g ,后者是前者的 $1/10$ 。激光熔覆涂层的磨损失重量大大小于 TC4 合金,说明其具有很高的耐磨性。

Table 1 Weight loss of TC4 alloy and the coating with sliding distance of 100m

| material | number | weight loss |
|------------------------|---------|-------------|
| TC4 alloy | 1 | 0.0109 |
| | 2 | 0.0125 |
| | 3 | 0.0112 |
| | average | 0.0115 |
| laser cladding coating | 4 | 0.0016 |
| | 5 | 0.0011 |
| | 6 | 0.0010 |
| | average | 0.0012 |

2.3 磨损机理分析

由图 4 TC4 合金的磨损表面形貌可以看出,在干

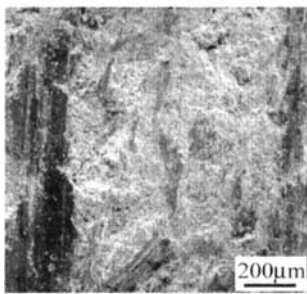


Fig 4 The worn surface of TC4 alloy

摩擦状态下,TC4 合金的磨损表面布满了剥层撕裂的痕迹。由于 TC4 合金的硬度较低 (HV350),塑性较高,在对磨盘的摩擦作用下,TC4 合金的磨损机制以粘着磨损为主,其材料损失表现为大块剥层撕裂,因而材料损失大。由图 5 磨损表面形貌可以看出,激光熔覆

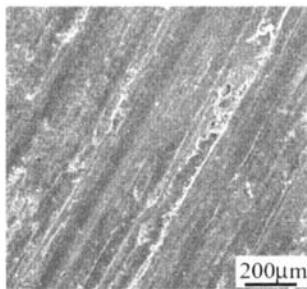


Fig 5 The worn surface of the coating

涂层的磨损表面为磨粒犁削产生的沟槽痕迹。这是由于激光熔覆涂层的硬度较高 (HV1100),摩擦表面的塑性变形受到限制,造成激光熔覆涂层的磨损机制以磨粒磨损为主。而且,激光熔覆涂层中的 TiC 相硬度极

高,对涂层起到一定的强化作用,提高了其耐磨性能。

3 结论

(1)以镍包石墨粉为原材料,在 TC4 合金表面上制备出良好质量的激光熔覆涂层。涂层组织以基体为固熔了少量 Ti 的 Ni 为基体,含有大量反应生成的 TiC 增强相。激光熔覆涂层的平均硬度达到 HV1100 左右,大约是基底 TC4 合金硬度 (HV350) 的 3 倍。

(2) TC4 合金的平均摩擦系数为 0.53 左右,激光熔覆涂层的平均摩擦系数为 0.56 左右,两者数值基本接近。经过 100m 滑动距离后,TC4 合金的平均磨损失重量为 0.0115g,激光熔覆涂层的平均磨损失重量为 0.0012g,后者是前者的 1/10,说明激光熔覆涂层具有很高的耐磨性。

(3) TC4 合金的磨损机制以粘着磨损为主,其材料损失表现为大块剥层撕裂,磨损量大。激光熔覆涂层的磨损机制以磨粒磨损为主,涂层的高硬度加上 TiC 增强相是其耐磨性高的主要原因。

参考文献

- [1] STRAFFEL N I G, MOL N A R I A. Dry sliding wear of Ti-6Al-4V alloy as influenced by the counterface and sliding conditions [J]. *Wear*, 1999, 236 (1~2): 328~338.
- [2] GHORBAN IM, MAZAHER IM, AFSHAR A. Wear and friction characteristics of electrodeposited graphite-bronze composite coatings [J]. *Surface & Coatings Technology*, 2005, 190 (1): 32~38.
- [3] RODRYGUEZ J, MARTYN A, FERNANDEZ R *et al* An experimental study of the wear performance of NiCoBSi thermal spray coatings [J]. *Wear*, 2003, 255 (7~12): 950~955.
- [4] DAI Z D, WANG M, YANG S R *et al* Experimental study on dry friction characteristics of titanium alloy TC11 before and after laser beam quenching [J]. *Laser Technology*, 1999, 23 (5): 309~312 (in Chinese).
- [5] COURANT B, HANTZPERGUE J J, BENA YOUN S. Surface treatment of titanium by laser irradiation to improve resistance to dry-sliding friction [J]. *Wear*, 1999, 236 (1~2): 39~46.
- [6] MENG Q W, GENGL L, NID R. Laser cladding NiCoCrAlY coating on Ti-6Al-4V [J]. *Materials Letter*, 2005, 59 (22): 2774~2777.
- [7] LI R X, LANG H Z, YU K N *et al* Kinetics for preparation of fine nickel-coated graphite composite powder [J]. *Rare Metal*, 2002 (5): 37~42 (in Chinese).
- [8] TAN Y S, CHEN C Z, WANG D Y *et al* Analysis of the growth mechanism of TiC crystal and the mechanical properties of the laser alloyed layer on the surface of pure titanium [J]. *Laser Technology*, 2005, 29 (2): 113~115 (in Chinese).

请向邮局订阅 2008 年度《激光技术》

国内统一刊号: CN51-1125/TN, 邮发代号: 62-74