

HVOF制备CuNiIn涂层对TC4-DT钛合金抗微动磨损的改善

吴轩璇¹, 黄建云¹, 柏林¹, 赵志国¹, 马国佳²

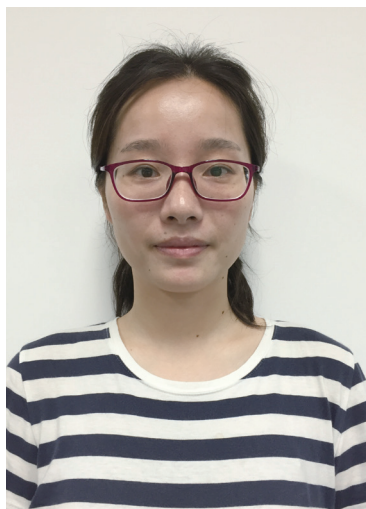
(1. 中航工业成都飞机设计研究所, 成都 610091;

2. 中航工业北京航空制造工程研究所, 北京 100024)

[摘要] 研究超音速火焰喷涂 CuNiIn 涂层对 TC21 钛合金疲劳性能的影响和 TC4-DT 钛合金微动磨损的防护行为。结果表明, 超音速火焰喷涂制备的 CuNiIn 涂层致密均匀、与 TC21 基体结合良好, 且对基体的疲劳极限影响不大; 涂层防护前后, TC4-DT 的微动磨损机理不同, 使用前为切削磨损和磨粒磨损, 使用后为粘着磨损和磨粒磨损; CuNiIn 涂层可以有效改善 TC4-DT 的抗微动磨损性能, 在本试验条件下, 涂层使用前后磨损体积降低 62%。

关键词: 超音速火焰喷涂; CuNiIn 涂层; TC4-DT 钛合金; 微动; 磨损

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.14.041



吴轩璇

成都飞机设计研究所硕士研究生, 研究方向为钛合金的微动损伤结构设计。

钛合金由于具有密度低、比强度高、温度性能好、耐腐蚀性好、与复合材料相容性好等特点, 综合性能优异, 被广泛应用于航空、航天产品^[1], 特别是先进飞机重要受力结构、发动机壳体 and 压气机叶片都大量采用了

钛合金材料, 对提高飞机和发动机性能、减少重量起到非常重要的作用。我国自主研发的 TC4-DT 中强高韧损伤容限钛合金和 TC21 高强高韧损伤容限钛合金作为主干材料, 被广泛用于新型飞机框、梁、接头等关键受力结构。其中, TC4-DT 钛合金是在传统 TC4 钛合金的基础上, 通过降低间隙元素含量研制出的一种新型中强高韧损伤容限型两相钛合金, 既保持了传统 TC4 合金优良的力学性能, 又有良好的损伤容限性能^[2-3]。TC21 钛合金是采用准 β 锻造技术或近 β 锻造技术制造, 其综合性能与美国的 Ti-62222S 合金性能相当^[2,4]。但是, 钛合金对表面缺陷和应力集中十分敏感, 这与其电子层、晶体结构和热传导率密切相关。室温环境下, α -Ti 是六方结构, $c/a=1.588$, 远小于理想值 1.633, $\{1001\}$ 晶面易滑移, 并发生粘着。另外, 钛合金活性高, 热传导率低, 在微动磨损过程中极易发生氧化而形成氧化层, 在微动过程中

氧化层不断生成和磨损, 导致钛合金基体不断被消耗。因此钛合金在一些重载微动的连接部位容易发生微动磨损, 使连接间隙增大, 大大降低疲劳极限^[5-8], 导致零部件失效, 严重的会影响飞行器的安全可靠性和使用寿命, 限制了钛合金的使用范围, 因此改善钛合金的抗微动磨损性能非常重要。

超音速火焰喷涂(HVOF)是利用高速焰流将粉末粒子撞击基体形成涂层, 其焰流温度约为 3000℃, 焰流速率高达 2000m/s, 粉末粒子速度为 300~500m/s, 粉末冲击在基体表面的动能大, 故而制备的涂层具有表面致密光洁(孔隙率小于 2%)、结合强度高(60~70MPa)等特点^[9], 因而被广泛应用于航空航天、化工设备、机械装备等领域^[10-13]。CuNiIn 涂层是一种硬度低、耐微动磨损性能好的优质软固体润滑膜层^[14-15], 具有一定的变形能力, 易与基体发生几何匹配。在钛合金微动磨损防护方面的

应用非常有前景,已经被用在部分航空发动机压气机叶片和轮盘榫槽之间起到抗微动磨损的作用^[16-18]。

本试验以 TC21 钛合金和 TC4-DT 钛合金组成线接触摩擦副,利用超音速火焰喷涂在 TC21 钛合金试件表面喷涂 CuNiIn 软润滑膜层,研究超音速火焰喷涂 CuNiIn 对 TC21 基体疲劳性能的影响和对 TC4-DT 微动磨损的防护作用。

试验材料及方法

试验采用圆柱/平面的线接触摩擦方式,上试样为 TC21 钛合金圆柱体,尺寸为 $\phi=6\text{mm}$, $l=16\text{mm}$, $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$,如图 1(a)所示。而下试样为 TC4-DT 钛合金长方体,尺寸为 $a=20\text{mm}$, $b=10\text{mm}$, $h=7\text{mm}$, $R_a \leq 1.6\mu\text{m}$,如图 1(b)所示。

实验分为两组,第一组不作处理,为原始组;第二组在 TC21 试件表面采用超音速火焰喷涂的方法喷涂 CuNiIn 涂层,为涂层组。粉末采用 Amdry 500F,粒度为 $10\sim 50\mu\text{m}$,制备的涂层厚度为 $0.10\sim 0.20\text{mm}$,磨削加工后粗糙度控制在 $0.8\mu\text{m}$ 以下。微动磨损试验在 FTM 摩擦磨损试验机上进行,微动磨损参数设定:法向载荷 100N 、磨损频率 10Hz 、循环次数 90000 次、微动位移 $100\mu\text{m}$;试验环境条件:室温,湿度 $40\%\sim 50\%$ 。采用 Amsler HFP 5000 高频疲劳试验机,按照 HB 5287-96 标准通过升降法测试试样的中值疲劳极限,试样为 $\phi 7 \times 100$ 光滑漏斗形状,如图 2 所示,CuNiIn 涂层喷涂在试样的圆弧外侧,未经磨削,厚度 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 。加载条件为正弦波,频率 130Hz ,应力比 $R=-1$,理论应力集中系数 $K_t=1$ 。

利用 DM6000M 金相显微镜和 DMH-2 显微硬度计测量涂层的孔隙率和硬度;利用 Z100 电子万能材料试验机测量涂层的结合强度;利用 JB-5C 粗糙度轮廓仪进行磨痕二维轮廓观察并计算磨痕量;用 ZISS 扫

描电子显微镜观察磨损区域的表面微观形貌。

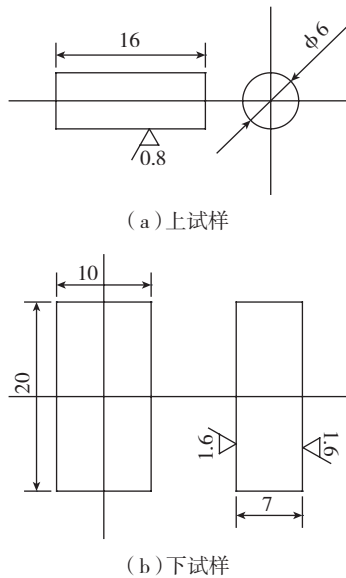


图1 微动磨损试样尺寸
Fig.1 Size of fretting wear samples

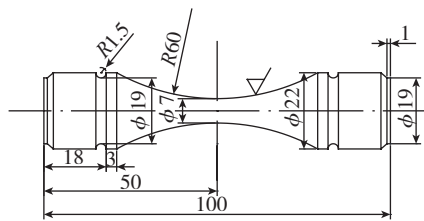


图2 疲劳试样尺寸
Fig.2 Size of fatigue sample

结果与讨论

1 涂层的性能和对基体疲劳极限的影响

图 3 为涂层截面金相照片,从图中可以看出,涂层厚度约为 $100\mu\text{m}$,均匀致密,存在少量尺寸微小的空洞(黑色部分),在涂层与基体的结合处可以看到一条很细的结合线(箭头所示),但不明显,通过定量金相的方法测得涂层的孔隙率小于 1% ,涂层与基体界面缺陷小于 10% ,显微硬度平均值为 322.6HV 。用对偶拉伸法在 Z100 电子万能材料试验机上测得涂层的平均结合强度为 55.03MPa ,说明涂层与基体结合良好。这是因为粉末粒度小,且 HVOF 喷涂的火焰温度高,粉末充分熔化,流动性好,可以充分填充孔隙,故而孔隙率和界面缺

陷较小,涂层硬度高;另外, HVOF 喷涂的火焰喷射速度高,熔滴速度大,雾化效果好,以较大的动能冲击在基体上,故而涂层与基体结合强度高。

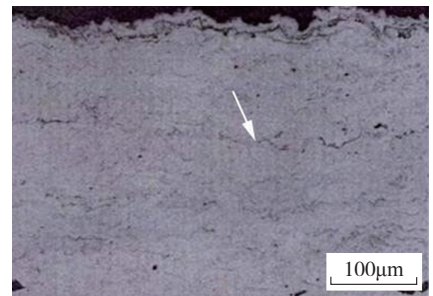


图3 涂层试样的截面金相图
Fig.3 Cross section metallograph of coating sample

涂层对基体疲劳性能的影响是涂层能否应用的重要因素之一。按照 HB 5287-96 进行拉-压疲劳试验,有无涂层的 TC21 钛合金的测试结果如表 1 所示,循环次数达到 1.00×10^7 的试样在实验过程中没有发生断裂,其他均在实验过程中断裂。对第一次出现相反结果以前的实验数据,如在以后实验数据的波动范围之内则有效,否则舍弃,中值疲劳极限为:

$$\sigma_D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m V_i \sigma_i \quad (1)$$

式中: n 为有效试验总次数; m 为升降应力水平级数; σ_i 为第 i 级应力水平; V_i 为第 i 级应力水平下的试验次数。经计算:无涂层的 TC21 钛合金试样中值疲劳极限为 462.5MPa ,变异系数为 3.12% ,置信度为 95% 时,误差限度为 2.91% ;有涂层的 TC21 钛合金试样的疲劳极限为 423.2MPa ,变异系数为 4.65% ,置信度为 95% 时,误差限度为 4.31% ,满足一般工程误差要求(5%)^[19]。喷涂涂层后基体疲劳极限降低 8.5% ,可知 CuNiIn 涂层对基体疲劳性能影响不大^[20-23]。

2 磨痕的形貌分析

图 4 为两组试验的 SEM 图,图 4(a)、(b)、(c)分别为原始组的 TC4-

DT 试样磨损表面的 50 倍、500 倍和 5000 倍的 SEM 图,图 4 (d)、(e)、(f) 分别为涂层组 TC4-DT 试样磨损表面的 50 倍、500 倍和 5000 倍的 SEM

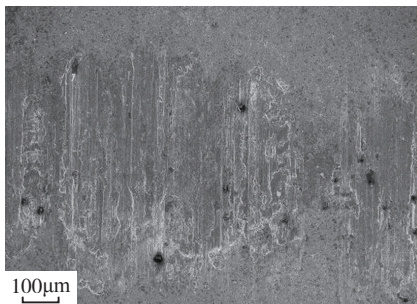
图,从图中可以看出两组 TC4-DT 试样的磨损表面形貌有很明显的变化。从 50 倍 SEM 图中可以看出划痕沿着微动方向,与涂层组相比,原始组

的磨损表面在磨损边缘有许多黑点,为大尺寸的磨屑。从图 4 (b)和(c)可以看出试样磨损表面有长条状的磨损台阶,但没有产生明显的粘着,存在大量的磨屑和磨坑,磨坑的面积小深度大,这是由于 TC21 比 TC4-DT 表面的硬度大,在微动磨损的过程中,TC21 表面硬质尖锐的微凸体对 TC4-DT 表面产生切削作用,经过一次或者多次切削将 TC4-DT 表面材料切削掉,形成磨屑,磨屑在微动过程中不能立即从接触表面排出,充当磨粒对 TC4-DT 表面产生磨损。

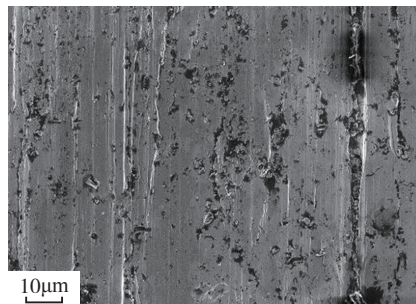
由图 4 (e)和(f)可以看出磨损表面存在明显的粘着,有面积较大的蚀坑,蚀坑的边缘呈多层水波浪形台阶,根据脱层理论,在微动过程中,TC4-DT 和 CuNiIn 涂层表面微凸体接触发生冷焊作用,亚表面产生微裂纹,随着循环次数的增加,部分平行于表面的微裂纹相互连通,产生第一层磨屑和面积较大的磨坑,在磨坑平面上继续产生磨屑,最终形成边缘为多层状的呈水波浪形的磨坑。TC21 表面喷涂涂层后,TC4-DT 的微动磨

表1 TC21钛合金拉-压疲劳测试结果

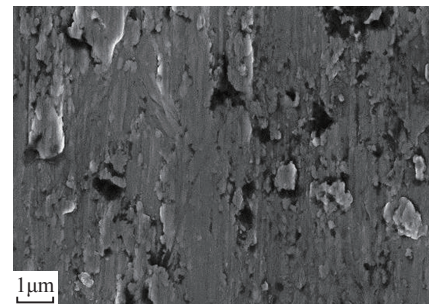
编号	无涂层		有涂层	
	应力水平 /MPa	循环次数	应力水平 /MPa	循环次数
1	450	1.00×10^7	375	1.00×10^7
2	475	7.68×10^6	400	3.54×10^5
3	450	1.00×10^7	375	1.00×10^7
4	475	1.00×10^7	400	1.00×10^7
5	500	7.60×10^4	425	1.00×10^7
6	475	2.31×10^5	450	1.54×10^5
7	450	4.19×10^5	425	1.00×10^7
8	425	1.00×10^7	450	6.91×10^5
9	450	1.00×10^7	425	7.16×10^5
10	475	4.68×10^6	400	1.00×10^7
11	450	1.00×10^7	425	1.00×10^7
12	475	6.66×10^6	450	5.89×10^5
13	450	1.00×10^7	425	1.00×10^7
14	475	8.52×10^6	450	8.96×10^5
15			425	8.10×10^5



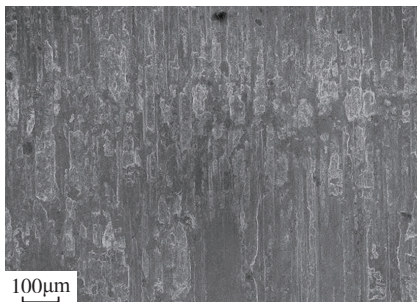
(a) 无涂层(50X)



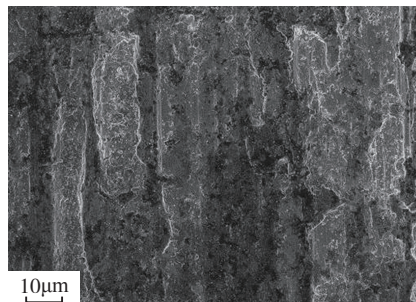
(b) 无涂层(500X)



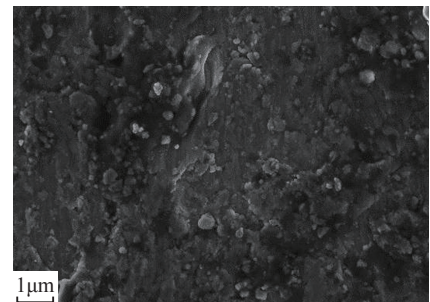
(c) 无涂层(5000X)



(d) 有涂层(50X)



(e) 有涂层(500X)



(f) 有涂层(5000X)

图4 TC4-DT磨损表面微观形貌

Fig.4 Micrographs of wear surface of TC4-DT

损机理发生了变化是因为 CuNiIn 涂层易变形,与对磨面产生几何匹配,发生粘着,同时 In 具有润滑作用,在微动过程中向无涂层的 TC4-DT 表面转移,减小 TC4-DT 的磨损。

3 摩擦系数和磨损体积

两组试样微动试验过程中摩擦系数的变化如图 5 所示,图 5 (a) 为原始组的 TC4-DT 微动磨损的动态摩擦系数,图 5 (b) 为涂层组的 TC4-DT 微动磨损的动态摩擦系数。从图 5 (a) 可以看出无涂层条件下,在开始试验的 2000s 内,微动磨损的摩擦系数波动非常大,这个阶段主要是切削磨损,TC21 表面尖锐的微凸体对 TC4-DT 产生切削,故而摩擦系数波动较大,随着切削的进行,磨屑越来越多,最终转变为磨粒磨损,2000s 之后,磨屑的产生和排出达到动态平衡,摩擦系数趋于稳定,在 0.6~0.7 之间发生小的波动。

由图 5 (b) 可看出,涂层组的 TC4-DT 的摩擦系数与图 5 (a) 相比在整个试验过程中波动较大,由于 CuNiIn 涂层为软润滑涂层,试验过程中摩擦系数较小,大部分时间摩擦系数在 0.6 以下。在微动初期,TC4-DT 表面由于氧化膜的存在摩擦系数较小,随着表面膜被破坏,TC4-DT 与 CuNiIn 涂层接触产生粘着,摩擦系数上升;随着磨屑的产生和增多,粘着变小,摩擦系数降低;接着磨屑被排出,粘着又增加,摩擦系数上升,接触面发生粘着磨损和磨粒磨损的交替作用导致摩擦系数的波动。

用 JB-5C 粗糙度轮廓测试仪测得两组试验的 TC4-DT 试样表面磨痕的二维形貌如图 6 所示,磨损体积如表 2 所示。磨损体积是通过粗糙度轮廓测试仪间接测量的,分别在试样的 3 个典型位置测量二维形貌,将数据导入 Origin 中,利用积分功能得到磨损区域界面的面积,取平均值。用千分尺测得磨损区域的长度,求得磨损区域的体积。从图 6 (D 为磨损深

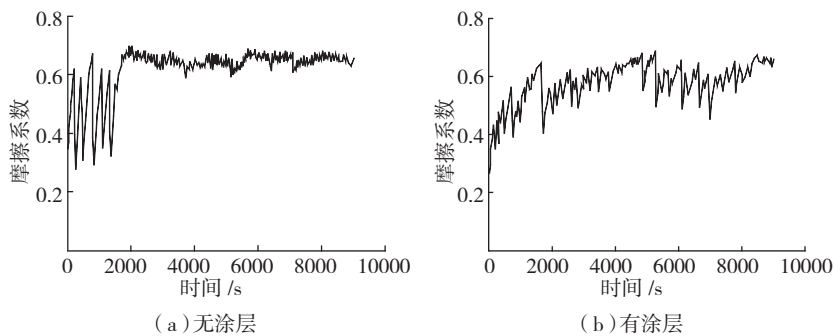


图5 TC4-DT摩擦系数
Fig.5 Friction coefficient of TC4-DT

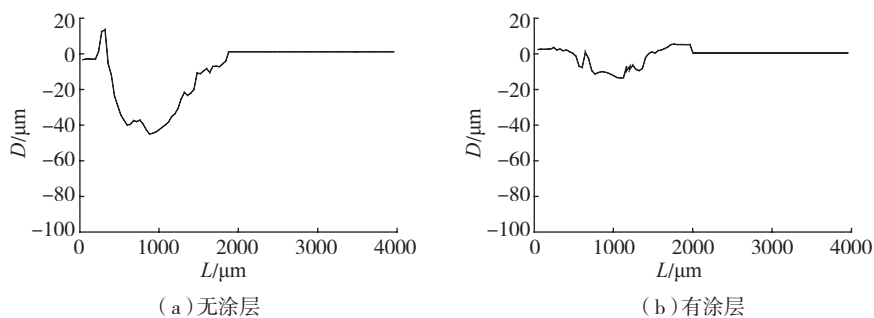


图6 磨痕的二维轮廓
Fig.6 Two-dimensional topography of abrasion

表2 磨损体积

	序号	磨损时间	无涂层	有涂层
磨损体积 /mm ³	1	2.5h	0.155380087	0.068088292
	2		0.218630884	0.078066893
	3		0.227370393	0.081490552
平均值 /mm ³			0.200460455	0.075881912

度, L 为磨痕宽度) 中可以看出, 没有涂层的情况下, TC4-DT 表面磨损的深度是有涂层防护的 2~3 倍, 经过计算得到在 TC21 表面喷涂 CuNiIn 涂层对 TC4-DT 进行防护后, TC4-DT 的平均磨损体积从 0.2mm³ 下降到了 0.076mm³, 磨损体积下降了 62%, CuNiIn 涂层的存在可以有效地降低 TC4-DT 的磨损量, 达到防护作用。

结论

(1) 利用超音速火焰喷涂技术在 TC21 试样表面喷涂 CuNiIn 涂层可以有效提高 TC4-DT 钛合金的抗微动磨损性能, 且涂层对 TC21 试样的疲劳性能影响不大, 与 TC4-DT 试样进行微动试验后, TC4-DT 试样的

磨损体积从喷涂涂层以前的 0.2mm³ 下降到了 0.076mm³, 下降 62%。

(2) 在 TC21 试样表面喷涂涂层后与 TC4-DT 试样表面发生微动, TC4-DT 试样的微动磨损机理发生变化, 无涂层时, TC4-DT 试样表面的微动磨损机理为切削磨损和磨粒磨损; 喷涂涂层后, TC4-DT 试样表面的微动磨损机理为粘着磨损和磨粒磨损。

参考文献

[1] 张英明, 韩明臣, 倪沛彤, 等. 航空、航天用钛合金的发展与应用 [C]. 第三届空间材料及其应用技术学术交流论文集. 中国空间技术研究院, 2011:100-106.

ZHANG Yingming, HAN Mingchen, NI

- Peitong, et al. The development and application of titanium alloy in aviation and aerospace[C]. Proceedings of 3th Academic Communication Conference on Space Materials and its Application Technology. China Academy of Space Technology, 2011:100-106.
- [2] 赵永庆, 葛鹏. 我国自主研发钛合金现状与进展[J]. 航空材料学报, 2014,34(4):51-61.
- ZHAO Yongqing, GE Peng. Current situation and development of new titanium alloys invented in China[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2014,34(4):51-61.
- [3] 房卫萍, 陈沧, 史耀武, 等. 损伤容限钛合金的研究进展及应用现状[J]. 材料工程, 2010(9):95-98.
- FANG Weiping, CHEN Lun, SHI Yaowu, et al. Research development and application of damage tolerance titanium alloy[J]. Journal of Materials Engineering, 2010(9):95-98.
- [4] 陈伟. TC21 钛合金损伤容限性能研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- CHEN Wei. The research of damage tolerance behavior of TC21 titanium alloy[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008.
- [5] 周仲荣, Léo VINCENT. 微动磨损[M]. 北京: 科学技术出版社, 2002.
- ZHOU Zhongrong, Léo VINCENT. Fretting wear[M]. Beijing: Science & Technology Press, 2002.
- [6] 何明鉴. 机械构件的微动疲劳[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.
- HE Mingjian. Fretting fatigue of mechanical components[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1994.
- [7] 刘道新, 刘元镛, 刘双梅, 等. 航空钛合金结构的几种典型损伤形式及控制[J]. 航空工程与维修, 2000(4):22-23.
- LIU Daoxin, LIU Yuanyong, LIU Shuangmei, et al. Several typical damage of Ti-alloy in aero-components and its control[J]. Aviation Engineering & Maintenance, 2000(4):22-23.
- [8] 柏林, 丁燕, 邓凯, 等. TC21 钛合金微动磨损特性的研究[J]. 材料导报, 2013,27(10):79-82.
- BAI Lin, DING Yan, DENG Kai, et al. Fretting wear behavior of TC21 alloy materials[J]. Materials Review, 2013,27(10):79-82.
- [9] 曾杰, 刘军和. 超音速火焰喷涂涂层评析[J]. 航空制造技术, 2004(3):72-74.
- ZENG Jie, LIU Junhe. Evaluation and analysis of high velocity oxygen flame sprayed coatings[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2004(3):72-74.
- [10] 姬寿长, 李争显, 杜继红, 等. Ti6Al4V 合金表面超音速火焰喷涂 WC-12Co 涂层组织及相分析[J]. 稀有金属材料与工程, 2012,41(11):2005-2009.
- Ji Shouchang, LI Zhengxian, DU Jihong, et al. Microstructure and phase analysis of WC-12Co coatings sprayed on Ti6Al4V alloy by HVOF[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2012,41(11):2005-2009.
- [11] 李松林, 向锦涛, 周伍喜, 等. 超音速火焰喷涂 WC-10Co4Cr 涂层的耐滑动磨损行为[J]. 中国有色金属学报, 2012,22(5):1371-1376.
- LI Songlin, XIANG Jintao, ZHOU Wuxi, et al. Sliding wear behavior of high-velocity oxy-fuel sprayed WC-10Co4Cr coatings[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2012,22(5):1371-1376.
- [12] 王志平, 刘佳. HVOF 喷涂 WC-Co 涂层替代电镀硬铬研究[C]. 中国航空学会维修分会 2008 年学术年会论文集. 中国航空学会, 2008:145-147.
- WANG Zhiping, LIU Jia. Study on HVOF sprayed WC-Co coatings instead of hard Cr electroplating[C]. Technical Committee of Maintenance Engineering, CSAA, Proceedings of 2008 Academic Annual Conference. CSAA, 2008:145-147.
- [13] MAZAHARI Y, KARIMZADEH F, ENAYATI M H. Development of Al356-Al2O3 nanocomposite coatings by high velocity oxy-fuel technique[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2013,29(9):813-820.
- [14] HAGER C H, SANDERS J, SHARMA S, et al. Gross slip fretting wear of CrCN, TiAlN, Ni, and CuNiIn coatings on Ti6Al4V interfaces[J]. Wear, 2007,263(1-6):430-443.
- [15] MARY C, FOUVRY S, MARTIN J M, et al. High temperature fretting wear of a Ti alloy/CuNiIn contact[J]. Surface & Coatings Technology, 2008,203(5-7):691-698.
- [16] 王璐. 热喷涂技术在先进航空发动机上的应用及前景展望[J]. 有色金属: 冶炼部分, 2008(S1):7-9.
- WANG Lu. Application and prospect of thermal spray technology in advanced aero engines[J]. Nonferrous Metals: Extractive Metallurgy, 2008(S1):7-9.
- [17] 王磊, 梅雪珍, 马江虹. 热喷涂技术在抗微动损伤中的应用[J]. 有色金属: 冶炼部分, 2006(S1):93-95.
- WANG Lei, MEI Xuezheng, MA Jianghong. Application of thermal spray technology on resistance to fretting[J]. Nonferrous Metals: Extractive Metallurgy, 2006(S1):93-95.
- [18] 郭志宏, 王辉, 张淑婷, 等. 电弧喷涂 CuNiIn 抗微动磨损涂层性能研究[J]. 热喷涂技术, 2013(4):33-38.
- GUO Zhihong, WANG Hui, ZHANG Shuting, et al. Study on the properties of arc sprayed CuNiIn coating[J]. Thermal Spray Technology, 2013(4):33-38.
- [19] 高镇同. 疲劳性能测试[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- GAO Zhentong. Fatigue test[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1980.
- [20] 杜东兴, 刘道新, 孟保利, 等. 喷丸、喷砂与 HVOF WC-17Co 涂层表面完整性对 TC18 钛合金疲劳性能的影响[J]. 航空材料学报, 2013,33(5):13-21.
- DU Dongxing, LIU Daoxin, MENG Baoli, et al. Effects of surface integrity of shot peening, grit blasting and HVOF sprayed WC-17Co coating on fatigue properties of TC18 titanium alloy[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2013,33(5):13-21.
- [21] 陈昭运, 孟祥红, 李建国. 爆炸喷涂 Cr3C2-NiCr 涂层及其对 2Cr10MoVNbN 钢疲劳性能的影响[J]. 机械工程材料, 2009(6):85-89.
- CHEN Zhaoyun, MENG Xianghong, LI Jianming. Gas detonation spray Cr3C2-NiCr coating and effect on fatigue property of 2Cr10MoVNbN steel[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2009(6):85-89.
- [22] 张国庆, 王成焘. 曲轴材料 48MnV 钢及其具有 3Cr13 电弧喷涂涂层的疲劳行为[J]. 材料科学与工程学报, 2011(3):448-454.
- ZHANG Guoqing, WANG Chengtao. Fatigue behavior of crankshaft material 48MnV steel and arc sprayed 3Cr13 coating on it[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2011(3):448-454.
- [23] 黄海鸿, 杨伟华, 王振苏. 300M 钢表面 WC10Co4Cr 涂层制备及其对疲劳的影响[J]. 航空精密制造技术, 2014,50(2):33-35.
- HUANG Haihong, YANG Weihua, WANG Zhensu. Effect of steel 300M surface WC10Co4Cr coating preparation on fatigue[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2014,50(2):33-35.

Improvement of Fretting Wear Resistance of TC4-DT Titanium Alloy With CuNiIn Coating by HVOF

WU Xuanxuan¹, HUANG Jianyun¹, BAI Lin¹, ZHAO Zhiguo¹, MA Guojia²
(1.AVIC Chengdu Aircraft Design and Research Institute, Chengdu 610091, China;
2.Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024, China)

[ABSTRACT] The effects of CuNiIn coating by HVOF on fatigue performance of TC21 titanium alloy and fretting wear behavior of TC4-DT titanium alloy are studied. The results show that, CuNiIn coating by HVOF is dense and uniform, well adheres to TC21 substrate, and has little effect on fatigue property of TC21; The fretting wear mechanics is different whether CuNiIn coating is used, the fretting wear mechanics are cutting wear and abrasive wear without coating, while adhesive wear and abrasive wear with coating. CuNiIn coating can improve fretting wear resistance of TC4-DT effectively, the abrasion lose is reduced by 62% in the experiment in this paper.

Keywords: HVOF; CuNiIn coating; TC4-DT titanium alloy; Fretting; Wear

(责编 李丹)

(上接第36页)

Applications and Development Trends of Aviation Coatings

LI Qilian, CUI Xiangzhong

(Science and Technology on Power Beam Processes Laboratory, Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024, China)

[ABSTRACT] Aviation coatings technology is an important part of aeronautical manufacturing technologies. Advanced coating materials and coating technologies can promote performances of aviation products, reduce aircraft fuel consumption, improve reliability and maintainability of plane and aero-engine components and extend the life of aircraft components. Applications and development trends of aviation coatings including thermal barrier coatings, environmental barrier coatings for CMC, abradable coatings and nanocoatings are discussed in this paper.

Keywords: Aviation coatings; Thermal barrier coatings; Environmental barrier coatings; Abradable coatings; Nanocoatings
(责编 李丹)

(上接第40页)

Marine Corrosion Resistant of Abradable Seal Coating for Aero-Engine and Its Future Development

SONG Jia, WANG Lu, YUAN Fuhe, ZHANG Jiaping, LI Mingkang
(Shenyang Liming Aero-Engine (Group) Cooperation, Shenyang 110044, China)

[ABSTRACT] Corrosion resistant of abradable seal coating thermal sprayed on aero-engine parts and components for marine environment applications and their future developments are described. Emphases are placed on electrochemical corrosion damages of the thermal sprayed abradable seal coatings for aero-engines serviced in marine environments and corresponding protection methods involved in design of the abradable seal coating structure and composition. The progresses and future developments of marine corrosion resistant abradable seal coatings for aero-engine are proposed.

Keywords: Aero-engine; Abradable seal coating; Thermal spray; Marine corrosion

(责编 李丹)