

doi: 10.3969/j.issn.1007-9289.2013.02.004

TC4 钛合金表面等离子喷涂 Ni 基 WC 涂层的 组织及性能分析*

郭华锋^{1,2}, 孙涛^{1,2}, 李菊丽¹, 杨海峰³

(1. 徐州工程学院 机电工程学院, 江苏 徐州 221000; 2. 南京航空航天大学 机电学院, 南京 210016; 3. 中国矿业大学 机电学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 采用等离子喷涂技术在 TC4 钛合金表面制备了 Ni 基 WC 耐磨涂层, 利用扫描电镜、能谱仪、显微硬度仪、摩擦磨损试验机、X 射线应力仪等研究了涂层的微观组织、成分、硬度、磨损失量、磨损机制及残余应力特性等。结果表明: 涂层呈现典型的层状结构, 与基体结合良好, 面层孔隙率为 4.7%。显微硬度由表及里呈梯度变化, 在 798~990 HV_{0.3} 之间波动, 同载荷下基体体积磨损量是涂层的 8.9 倍, 基体磨损机制主要为磨粒磨损和黏着磨损, 涂层磨损机制以磨粒磨损为主。涂层表面无裂纹存在, 分布着压应力状态的残余应力。

关键词: 钛合金; 等离子喷涂; 耐磨涂层; 磨损机制; 残余应力

中图分类号: TG174.442 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289(2013)02-0021-08

Microstructure and Performance of Ni-based WC Coatings Prepared by Plasma Spraying on TC4 Titanium Alloy Surface

GUO Hua-feng^{1,2}, SUN Tao^{1,2}, LI Ju-li¹, YANG Hai-feng³

(1. Mechanical and Electronic Engineering Department, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221000, Jiangsu; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016; 3. School of Mechatronic Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu)

Abstract: Ni-based WC wear-resisting coatings were prepared on the surface of TC4 titanium alloy by plasma spraying technology. The coatings' properties such as microstructure, component, microhardness, abrasion loss, wear mechanism and residual stress were investigated by scanning electron microscope (SEM), energy dispersive spectrometer (EDS), microhardness tester, friction wear test equipment, X-ray residual stress measurement tester, and so on. The results demonstrate that the coatings show typical layer structure and bond well with the TC4 substrate, the porosity of Ni+30%WC coating is 4.7%. The microhardness presents gradient change from the coating to the substrate, which fluctuates in 798~990 HV_{0.3}. The wear volume of the substrate is 8.9 times of coating under the same load. The wear mechanism of the substrate are mainly abrasion wear and adhesive wear, while the coating is mainly abrasion wear. The coating surface has no cracks and its residual stress is compressive stress.

Key words: titanium alloy; plasma spraying; wear-resisting coating; wear mechanism; residual stress

收稿日期: 2012-12-24; 修回日期: 2013-03-15; 基金项目: * 江苏省高校自然科学基金项目(11KJD460004); 国家自然科学基金基金(51105360); 徐州工程学院培育项目(XKY2010107)

作者简介: 郭华锋(1982-), 男(汉), 河南驻马店人, 讲师, 博士; 研究方向: 激光加工、表面工程

网络出版日期: 2013-03-26 10:21; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20130326.1021.003.html>

引文格式: 郭华锋, 孙涛, 李菊丽, 等. TC4 钛合金表面等离子喷涂 Ni 基 WC 涂层的组织及性能分析 [J]. 中国表面工程, 2013, 26(2): 21-28.

0 引言

由于钛合金具有低密度,高比强度和比模量等优势,在航空航天、医疗、化工等领域的应用日益广泛。然而,由于耐磨性差限制了其在摩擦构件中的应用,如何有效地提高钛合金耐磨性能已成为诸多学者研究的热点^[1-3]。采用等离子喷涂、激光熔覆等工艺在钛合金表面制备高性能耐磨涂层是提高其耐磨性的重要途径^[4-5]。

近年来,Ni基自熔性合金涂层特别是采用WC等陶瓷颗粒增强Ni基合金的复合涂层由于具备高硬度、高耐磨性等优势在提高材料表面耐磨性方面得到了日益广泛的关注^[6-7]。对于在金属表面制备Ni基WC涂层的研究,国内外报道较多并取得了丰富的研究成果,但大都集中在采用火焰喷涂^[8-9]、激光熔覆^[10]、高频感应熔覆^[11]等工艺在普通45钢^[12]、1Cr18Ni9Ti不锈钢^[13]、模具钢^[14]等基体上制备。而对于在TC4钛合金基体上采用等离子喷涂技术制备Ni基WC涂层并综合分析涂层性能的研究相对较少。

基于此,文中利用等离子喷涂技术在TC4钛合金基体上以NiCr-Al为打底层制备了Ni+30%WC耐磨涂层,深入分析了微观组织、摩擦磨损性能、硬度及表面残余应力等,旨在为后续的研究提供一定的借鉴。

1 试验材料及方法

1.1 涂层材料及制备

等离子喷涂试验在Sulzer Metco 7MC型等离子喷涂系统上进行。基材为宝鸡中宝泰金属有限公司生产的退火态TC4钛合金板材,主要成分为(质量分数/%):6.0 Al,4.0 V,0.3 Fe,0.08 C,0.05 N,0.015 H,0.2 O,余量为Ti。室温屈服强度 $\sigma_{p0.2}$ 为335 MPa,抗拉强度 σ_b 为460 MPa,线切割成尺寸为30 mm×30 mm×5 mm的试样。喷涂前用丙酮清洗试样表面,利用棕刚玉喷砂以粗化表面,基体表面预热温度为100~150℃。

为改善结合性能,喷涂时以Sulzer Metco公司生产的443NS NiCr-Al粉末作为打底层,粒度范围为44~120 μm 。涂层材料为兰州理工合金粉末有限责任公司生产的Ni60A+30%WC粉末,Ni60A粒度范围为50~100 μm ,实测化学成分为(质量分数/%):0.94 C,16.21 Cr,4.32 Si,4.85

Fe,3.03 B,余量为Ni;WC粉末粒度范围为44~61 μm 。涂层制备前利用DHG-9145A型电热恒温鼓风干燥箱将所有粉末材料干燥3 h。喷涂过程中主气为Ar气,辅气为H₂。打底层主要工艺参数为:电流500 A,电压75 V,主气流量40 L/min,喷涂距离100~110 mm,送粉量50 g/min。Ni+30%WC涂层主要工艺参数为:电流500 A,电压70 V,喷涂距离100 mm,主气流量36.9 L/min,送粉量为70 g/min,喷涂结束后试样在室温下冷却。

1.2 涂层性能检测

采用ZEISS EVO60型扫描电子显微镜(SEM)观察涂层表面及截面形貌,磨痕表面采用美国FEI公司的Quanta™250环境扫描电子显微镜观察。采用德国Bruker公司的QUANTAX 400-10电制冷能谱仪分析成分。采用4XB-TV型金相显微镜测定涂层孔隙率,孔隙率测试原理如下:利用金相显微镜选择5个视场,利用其自身所带软件根据灰度的不同测试孔隙率,结果取其平均值。利用HV-1000型显微维氏硬度仪测量涂层显微硬度,施加载荷300 g,加载时间15 s。

摩擦磨损试验在SFT-2M销盘式摩擦磨损试验机上,在室温条件下(干摩擦)进行,分别加载6、10和15 N载荷,运行速度300 r/min,磨损时间15 min,磨损半径3 mm,对磨试样为 Φ 5 mm的Si₃N₄陶瓷球。摩擦因数、磨损量都由系统自动给出,为精确测定摩擦因数和磨损量,试验前后均采用丙酮清洗试样表面。测量磨损量时在磨痕上选择3~5个测量点,每个测量点检测3次,取其数据平均值作为该磨痕的磨损量。

采用X-350A型X射线应力测定仪测量涂层表面残余应力,除采用丙酮清洗外,不做任何损伤涂层的处理。试验中测量方法为侧倾固定 ψ 法,定峰方法为交相关法。X光管高压22 kV,管电流6 mA,准直管 Φ 2 mm,2 θ 扫描步距0.1°,计数时间2 s,2 θ 扫描起始角和终止角分别为142°和134.2°,侧倾角 ψ 分别取0°、24°、35°和45°,试验中衍射峰取(222)晶面,应力常数 K 为-1 171 (Mpa/°)。

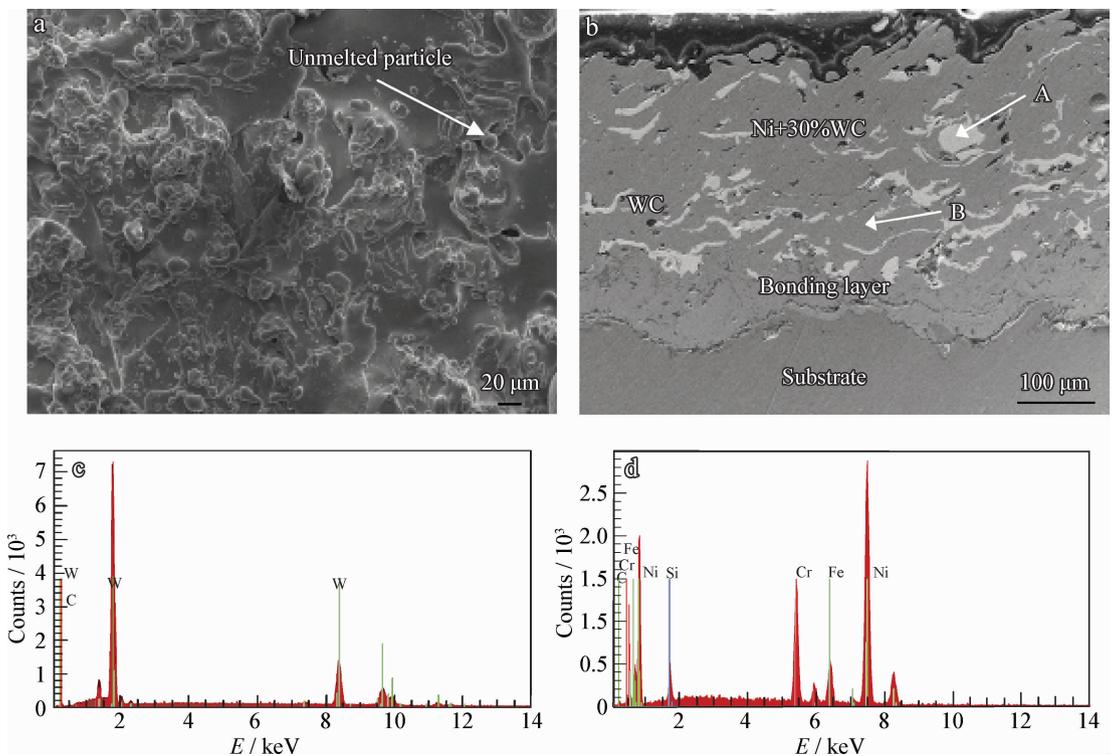
2 结果与讨论

2.1 涂层微观组织及成分分析

图1为Ni+30%WC涂层形貌和能谱分析。从图1(a)涂层表面形貌可以看出,由于等离子喷涂过程中熔融态粒子飞溅、变形及铺展,扁平化粒

子间搭接程度较高,无裂纹缺陷存在,但涂层表面尚存个别未熔颗粒,这种未熔颗粒将导致涂层产生孔隙。图 1(b)为涂层截面形貌。可以看出自上而下涂层分为 3 个区域:面层、打底层和基体,涂层整体由扁平化的颗粒相互堆叠成层状结构。面层与打底层之间结合紧密且较为致密,面层孔隙率为 4.7%。打底层与基体间大部分区域分界线明显,但局部区域结合紧密,说明其结合方式以机械结合为主。涂层由白色组织和浅灰色组织组成,结合图 1(c)、图 1(d)的能谱分析,点 A 处白色组织只有 W 和 C 元素存在,说明其为未熔的 WC 颗粒,点 B 处浅灰色组织成分基本为 Ni 基合

金粉末成分,喷涂过程中完全熔化,A、B 两处均未发现 O 元素的存在,说明不存在氧化物夹杂。经分析,未熔 WC 颗粒的存在主要归因于其熔点较高,当 Ni 基合金基相已经充分熔化而其来不及熔化便被周围液相包裹形成涂层,从而作为硬质相存在于涂层中,但这种“软基相+硬质点”^[15]分布模式的涂层却可以有效抵御外界磨粒对涂层的磨损,提高涂层耐磨性。此外,面层与打底层结合处存在较多的 WC 颗粒,这是由于 WC 颗粒密度较大,喷涂过程中率先沉降,沉积在面层与打底层结合面处,WC 颗粒分布基本均匀,有利于涂层耐磨性的提高。



(a) Surface morphology (b) Cross-section morphology (c) Energy spectrum of point A (d) Energy spectrum of point B

图 1 Ni+30%WC 涂层形貌和能谱分析

Fig. 1 Morphologies and energy spectrum analysis of Ni+30%WC coating

图 2 Ni+30%WC 为涂层 X 射线衍射图谱。可以看出涂层主要由 γ -Ni 固溶体和 FeNi_3 、WC、 W_2C 、 Cr_7C_3 、 Cr_2B 、 Ni_3B 等碳化物、硼化物组成。这是由于高温作用下部分 WC 发生分解,产生 W_2C 和 C,而 C 元素又与 Cr 元素生成新相 Cr_7C_3 , B 元素与 Ni、Cr 元素生成了 Cr_2B 、 Ni_3B 等间隙化合物,丰富了涂层硬质相。

图 3 为 WC 颗粒处截面形貌及线扫描。可以

看出 Ni、Cr、Fe 等元素含量先减小后增大,W 元素含量先增大后减小,但在 WC 颗粒边缘这些元素发生了一定量的扩散,W、Ni、Cr 等元素共存,这表明在等离子焰流高温作用下 WC 表层部分溶解进入 Ni 基基相^[16],形成一条有别于白色 WC 颗粒和灰色基相的暗灰色边缘(如图 3 所示),并且使棱角分明的 WC 颗粒变得圆润。一般 WC 颗粒在低于熔点温度下不会发生熔化,但

在金属基相溶液中得到良好湿润时,会与基相发生界面反应,呈现原子尺度上的溶解现象^[17],而且溶解优先发生在颗粒边缘和尖角等自由能较大处。溶解后 W、C 等元素会向基相中发生扩散并形成新相^[18],结合 XRD 分析可知:暗灰色边缘区域应该为 W_2C 、 Cr_7C_3 等脆性相。这种现象的发生使 WC 颗粒与基相结合牢固,可有效抵御外界载荷的磨损。

图 4 为打底层与基体交界处截面形貌及线扫描。可以看出该区域从打底层到基体 Ni、Cr 元素含量逐渐减小, Ti、V 元素含量逐渐增加,在交界处存在几个微米厚的微小扩散区,尤其是基体中的 Ti 元素明显进入打底层中,形成微冶金结合。这是由于 NiCr-Al 粉末在等离子喷涂过程中在 Al 的熔点附近发生强烈的放热反应,生成金属间化合物^[19],同时大大提高了喷涂焰流热焓

值,对熔融粒子和基体表面都有补充加热作用,有利于粒子的变形和铺展,使得涂层更为致密,涂层结合强度有所增加。

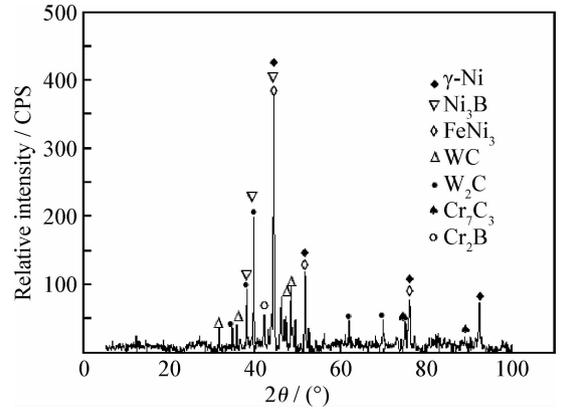


图 2 Ni+30%WC 涂层 X 射线衍射图谱
Fig. 2 XRD pattern of Ni+30%WC coating

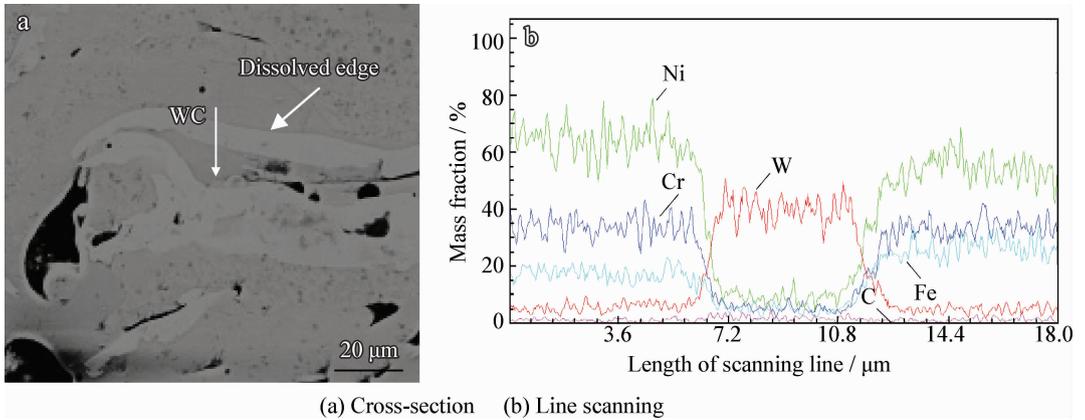


图 3 WC 颗粒处截面形貌及线扫描

Fig. 3 Cross-section and line scanning morphologies of WC particle region

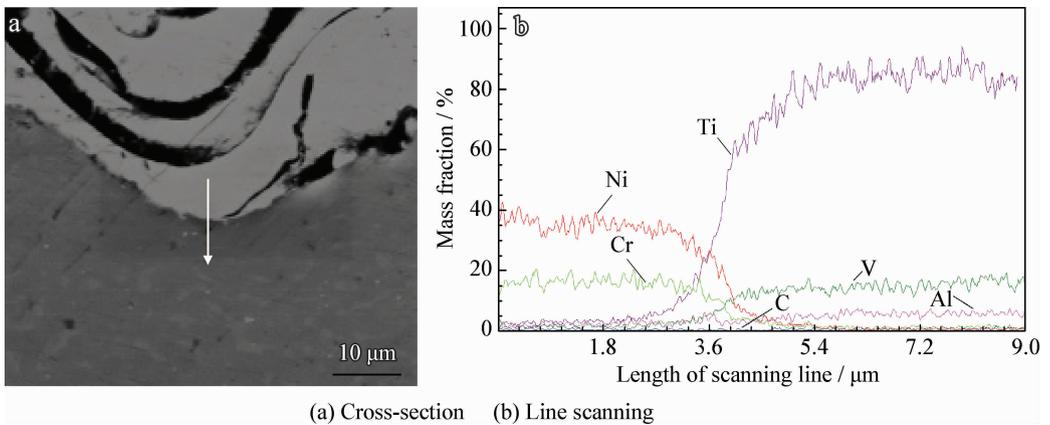


图 4 NiCr-Al 打底层与 TC4 基体交界处截面形貌及线扫描

Fig. 4 Cross-section and line scanning morphologies of the interface of NiCr-Al coating and TC4 substrate

这表明使用 NiCr-Al 打底层虽然与基体间整体上以机械结合为主,但可以实现局部的微冶金结合。

2.2 涂层显微硬度分析

图 5 为涂层及基体显微硬度分布。可以看出从涂层到基体硬度变化分成 3 个明显区域:面层、打底层和基体。面层显微硬度值变化较为显著,在 798~990 HV_{0.3}之间波动,主要是由于喷涂过程中涂层成份偏析、涂层结构和成份不均匀所致。打底层显微硬度值急剧下降,在 271~349 HV_{0.3}之间波动,这是由于 NiCr-Al 涂层韧性较好,承受塑性变形的能力强但硬度值较低,在显微镜下观察发现打底层的压痕明显大于面层的压痕。但这种外硬内韧的涂层结构,可使零件表面具备一定的高耐磨性及疲劳抗力,打底层的韧性可以在一定程度上缓和零件所受的冲击载荷。基体硬度较为均匀,但基体表层处硬度值略高于其它部位,分析认为原因如下:①当高温熔化粉末撞击基体表层时,由于时间较短热量来不及向基体内部传导,基体表层相当于进行了一次热处理,组织得到细化,硬度值略有升高;②高温熔融粒子对基体表层的不断撞击使其更加致密,使硬度值攀升。基体表层下部区域硬度值明显均匀,在 312~393 HV_{0.3}之间波动。

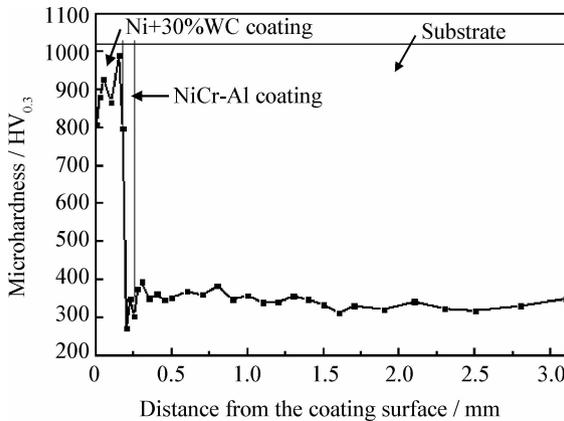


图 5 涂层及基体显微硬度分布

Fig. 5 Microhardness distribution of coating and substrate

2.3 涂层摩擦磨损性能

图 6 为载荷 6 N 下基体和涂层的摩擦因数曲线。可以看出,虽然基体表面较为光滑但在整个摩擦过程中摩擦因数波动剧烈,介于 0.325~0.567 之间,均值为 0.44,主要是由于基体硬度较

低,对磨过程中表面产生较多犁沟,表面粗糙度增大,因此摩擦因数波动较大。涂层摩擦过程中前 150 s 完成一个短暂的跑合阶段,后续基本上处于稳定状态,稳定阶段的摩擦因数介于 0.338~0.535 之间,均值为 0.42,略小于同载荷下基体摩擦因数。这主要是因为涂层硬度高于基体且含有硬质相,承载能力强,对磨过程中接触面积较小^[20],因而摩擦因数有所降低。

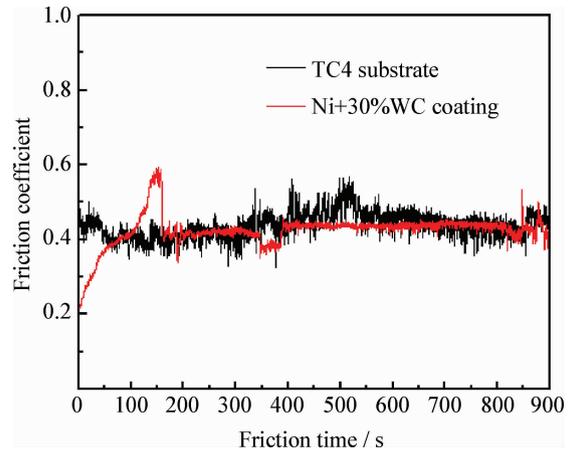


图 6 载荷 6 N 下基体和涂层的摩擦因数曲线

Fig. 6 Friction coefficient curves of substrate and coating under load of 6 N

图 7 为不同载荷下基体和涂层体积磨损量。可以看出,对于 TC4 基体而言,随着载荷的增大磨损量逐步增加,从 6 N 载荷下的 0.713 mm³ 上升到 15 N 载荷下的 1.394 mm³,而涂层磨损量增幅缓慢,均符合 Holm-Archard 磨损定律——即

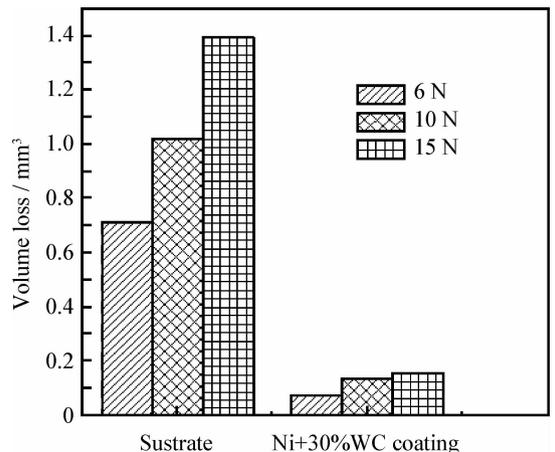


图 7 不同载荷下基体和涂层的体积磨损

Fig. 7 Volume loss of the substrate and the coating under different loads

磨损量正比于载荷。以 15 N 载荷为例,涂层的磨损量为 0.157 mm^3 ,基体磨损量为涂层的 8.9 倍,涂层耐磨性远高于基体。

2.4 磨损机制分析

图 8 为载荷 6 N 下 TC4 基体磨损表面的 SEM 形貌。从图 8(a)可以看出 TC4 基体表面产生明显的犁沟,犁沟深而密,磨损表面极为粗糙,表现出明显的磨粒磨损特征。这主要由于与陶瓷球相比 TC4 基材硬度较低且缺乏高硬度硬质相,对磨过程中承受干摩擦的能力较弱^[21],因此同载荷下基体磨损量较大。而从图 8(b)可以看出磨痕表面具有明显的塑性流动特征和黏着磨损特征。因此,TC4 基体的磨损机制主要为磨粒磨损

和黏着磨损。

图 9 为载荷 15 N 下涂层磨损表面 SEM 形貌。从图 9(a)可以看出涂层表面呈沟壑状,部分凸峰被磨掉,低谷处还未被磨损。未熔 WC 硬质颗粒在磨损过程中表层虽被磨损但并未脱落,牢牢嵌在基相中。从图 9(b)可以看出涂层磨损表面软相上出现细密的划痕,而 WC 颗粒硬质相上划痕几乎不可见,沟壑中可见少量磨屑,呈现磨粒磨损特征。这主要归因于涂层中 WC 颗粒的强化作用,使得涂层抗磨损能力增强,磨损过程中 WC 颗粒作为抗磨骨架起主要抗磨作用,有效抵御外界磨损,降低磨损量,与基体相比耐磨性明显提高。

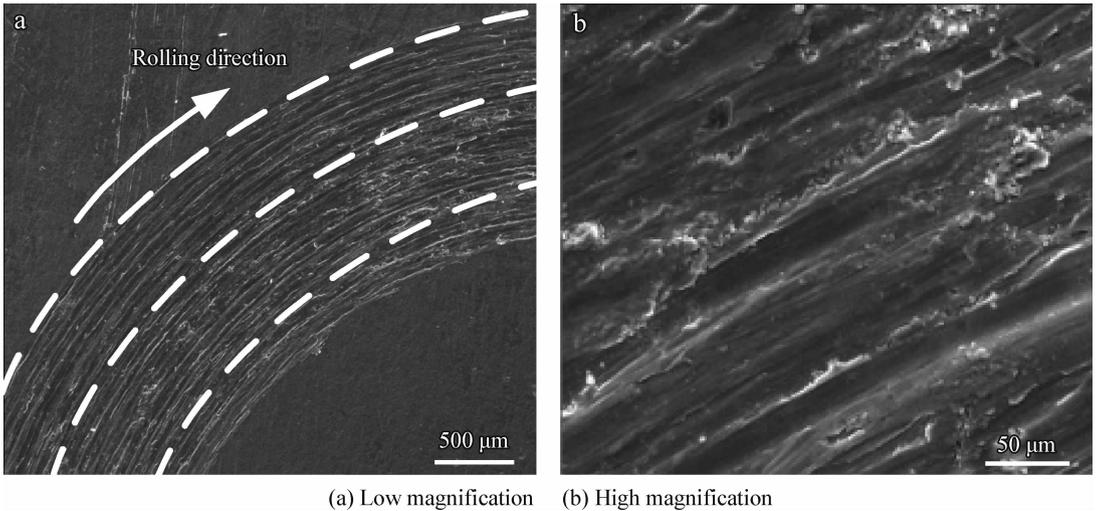


图 8 载荷 6 N 下 TC4 基体磨损表面的 SEM 形貌

Fig. 8 SEM morphologies of the wear surface of TC4 substrate under the load of 6 N

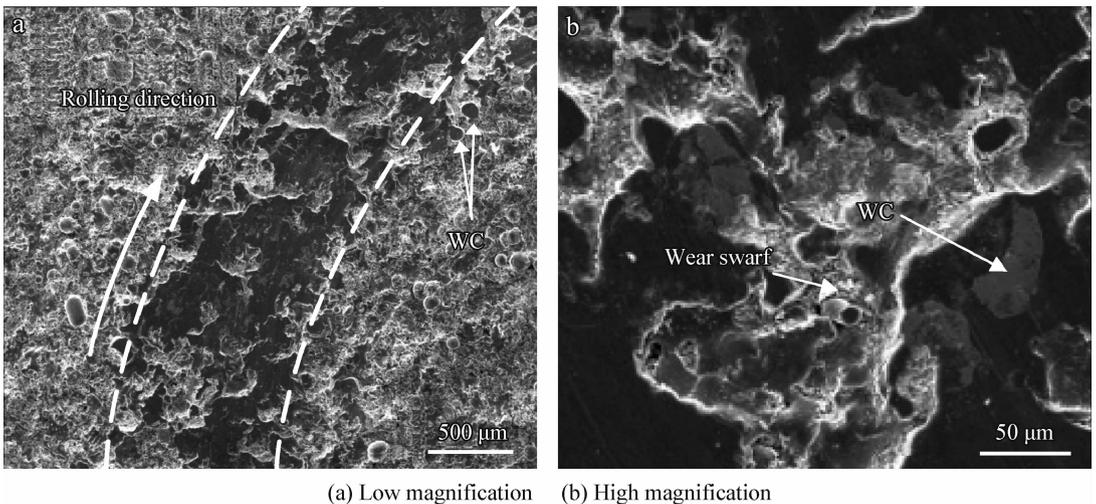


图 9 载荷 15 N 下 Ni+30%WC 涂层磨损表面的 SEM 形貌

Fig. 9 SEM morphologies of wear surface of Ni+30%WC coating under the load of 15 N

2.5 残余应力分析

残余应力是影响涂层微观组织结构、界面韧性、结合强度等涂层性能的主要因素。残余拉应力一般会导致涂层硬度降低、裂纹产生甚至开裂,而残余压应力在一定程度上可以提高涂层疲劳强度、耐磨性以及降低裂纹产生倾向。残余应力形成机制较为复杂,等离子喷涂过程中残余应力的产生一般认为是喷涂粒子高速撞击已形成涂层产生的冲击压应力,涂层、基体间热膨胀系数不匹配引发的热失配应力以及结晶冷却造成的冷却应力等综合作用的结果。图 10 为涂层表面残余应力测试结果,其值为 (-340 ± 37) MPa,说明涂层表面处于压应力状态,这有利于疲劳强度的提高,并有效阻止裂纹的产生,通过图 1 微观形貌观察确实未发现裂纹存在。但需要注意的是压应力值也不能过大,高值压应力会导致涂层与基体分离、起皱,从而造成涂层失效。

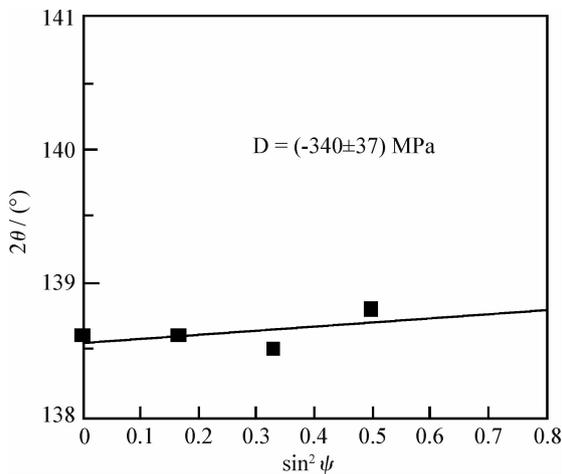


图 10 涂层表面的残余应力

Fig. 10 Residual stress of coating surface

3 结论

(1) 利用等离子喷涂工艺在 TC4 钛合金表面以 NiCr-Al 为打底层制备了 Ni+30% WC 涂层。涂层呈现典型的等离子喷涂层状结构,面层、打底层、基体间结合良好,面层的涂层孔隙率为 4.7%。

(2) 同样载荷下基体、涂层摩擦因数均值分别为 0.44、0.42。整个摩擦过程中基体摩擦因数曲线波动较为剧烈,而涂层经过跑合阶段后较为稳定。

(3) 同样磨损条件下,基体磨损量随着载荷的增加而大幅度增加,而涂层磨损量增加缓慢。15 N 载荷下基体磨损量为涂层磨损量的 8.9 倍,涂层耐磨性远优于基体。基体的磨损机制主要为磨粒磨损和黏着磨损,涂层以磨粒磨损为主。涂层显微硬度在 798~990 HV_{0.3} 之间波动,远高于基体的显微硬度。

(4) 涂层表面无裂纹存在,残余应力呈压应力分布。

参考文献

- [1] Aqeeli N Al, Yilbas B S, Tabet N. The effect of laser pulse frequency on the microstructure and morphology of duplex treated Ti-6Al-4V alloy [J]. Surface and Coatings Technology, 2011, 205: 3073-9.
- [2] Wang Y, Li C G, Guo L X, et al. Laser remelting of plasma sprayed nano-structured Al₂O₃-TiO₂ coatings at different laser power [J]. Surface and Coatings Technology, 2010, 204: 3559-66.
- [3] Li J N, Chen C Z, Lin Z Q, et al. Phase constituents and microstructure of laser cladding Al₂O₃/Ti₃Al reinforced ceramic layer on titanium alloy [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2011, 509: 4882-6.
- [4] 杨伟华,周海滨,王纯. TC4 钛合金表面 WC 基耐磨涂层制备 [J]. 中国有色金属学报, 2010, 20(z1): 997-1001.
- [5] Li Jun, Yu Zhishui, Wang Huiping. Wear behaviors of an (TiB+TiC)/Ti composite coating fabricated on Ti6Al4V by laser cladding [J]. Thin Solid Films, 2011, 519(15): 4804-8.
- [6] Vespa P, Pinard P T, Gauvin R, Y et al. Analysis of WC/Ni-based coatings deposited by controlled short-circuit MIG welding [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2012, 21: 865-876.
- [7] 丁小芹,梁翠,韩小云,等. 放电等离子烧结 Ni60-WC 涂层的显微组织与性能 [J]. 材料导报, 2011, 25(6): 85-87.
- [8] Berger, Saaro L M, S Naumann T, et al. Microstructure and properties of HVOF-sprayed chromium alloyed WC-Co and WC-Ni coatings [J]. Surface and Coatings Technology, 2008, 203(18): 4417-21.
- [9] 姬寿长,李争显,杜继红,等. Ti6Al4V 表面火焰喷焊 Ni 基 WC 涂层的组织和性能研究 [J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(Z4): 606-609.
- [10] Zhou Shengfeng, Dai Xiaoqin. Laser induction hybrid rapid cladding of WC particles reinforced NiCrBSi composite coatings [J]. Applied Surface Science, 2010, 256: 4708-14.
- [11] 贺定勇,许静,马然. 高频感应熔覆 WC 增强 Ni60 合金涂层性能研究 [J]. 材料热处理学报, 2008, 29(3): 138-141.

[12] 王敏, 王海东. 等离子喷涂 Ni 基 WC 涂层的组织与性能研究 [J]. 热加工工艺, 2010, 39(12): 134-136.

[13] Guo Chun, Chen Jianmin, Zhou Jiansong, et al. Effects of WC-Ni content on microstructure and wear resistance of laser cladding Ni-based alloys coating [J]. Surface and Coatings Technology, 2012, 206: 2064-71.

[14] 戴晟, 左敦稳, 黎向锋, 等. 2738 模具钢表面激光熔覆 Ni 基 WC 复合涂层的摩擦磨损性能 [J]. 吉林大学学报(工学版), 2012, 42(4): 924-929.

[15] 姜超平, 郝建民, 朱君臣. 等离子喷涂 WC 复合涂层耐磨性能 [J]. 材料热处理学报, 2010, 31(8): 117-120.

[16] 王东生, 田宗军, 王松林, 等. 等离子喷涂 WC 颗粒增强 Ni 基涂层组织及抗冲蚀性能 [J]. 热加工工艺, 2012, 41(4): 136-139.

[17] 张国祥. WC 颗粒增强高锰钢基表面复合材料的研究 [D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2011.

[18] 王智慧, 杨爱弟, 张田, 等. 真空熔覆 WC 颗粒增强复合涂

层中 WC 溶解行为的研究 [J]. 材料工程, 2008, 9: 56-58.

[19] 范文超, 谭俊, 王海军, 等. 超音速等离子喷涂工艺参数对 AISi-20%Al/Ni 涂层结合强度的影响 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(1): 71-75.

[20] 郭纯, 陈建敏, 周健松, 等. Ti-6Al-4V 激光重熔结构及摩擦学性能 [J]. 中国表面工程, 2011, 24(3): 11-15.

[21] 王振霞, 贺志勇, 王文波, 等. 钛合金表面 Nb-C 复合涂层摩擦磨损性能的研究 [J]. 材料科学与工艺, 2011, 19(2): 122-125.

作者地址: 江苏省徐州市新城区富春路 1 号 221000
 徐州工程学院机电工程学院
 Tel: (0516) 8310 5206
 E-mail: ghf20004@yahoo.com.cn

 • 学术动态 •

2013 年全国残余应力学术会议暨国际残余应力研讨会将在上海召开

由中国机械工程学会材料分会残余应力专业委员会、中国机械工程学会失效分析分会喷丸技术专业委员会以及中国物理学会 X 射线衍射委员会共同举办的第 17 届全国残余应力学术会议暨国际残余应力研讨会, 拟定于 2013 年 10 月下旬在上海市召开, 本次会议由上海交通大学和爱派克测试技术(上海)有限公司承办。热忱邀请国内外各行业、高校、研究院所以及企事业单位的专家、学者及工程技术人员踊跃撰写论文, 积极参加交流。

本次会议征文范围包括但不限于: ①重要装备制造加工中的残余应力; ②关键零部件使用服役中的残余应力; ③新材料及新工艺中的残余应力问题; ④残余应力的消除与调控技术; ⑤残余应力与材料性能; ⑥残余应力与零部件失效分析; ⑦喷丸强化技术与残余应力; ⑧材料中微观应力与组织结构; ⑨残余应力的测试与计算; ⑩与残余应力有关的其它问题。

会议期间还将召开国际残余应力研讨会, 就一些前沿和普遍关注的学术和应用问题, 邀请国内外知名专家学者作专题报告。邀请相关期刊负责人参加会议, 优秀论文将推荐在刊物上发表。会议期间还将展示国内外残余应力仪器设备, 安排厂商技术人员解答代表们感兴趣的问题。同时还将免费举办残余应力测试技术培训班, 并赠送残余应力标定试样。

凡计划参加论文交流的代表, 请尽快以 E-mail、手机短信或电话方式反馈至会务组, 包括代表的姓名、单位名称、联系方式及拟定的论文题目。具体会议地点、日期及会务费用等事项, 待 2013 年 6 月第 2 轮会议通知。

联系人: 詹科 (zhanke8211@sjtu.edu.cn, 15121036955);
 潘海滨 (henry@epco.com.cn, 13917992812);
 姜传海 (chjiang@sjtu.edu.cn, 13391307839)。

(摘自中国机械工程学会网)