

# Ni - P - PTFE 复合镀膜摩擦磨损性能的研究

吴迪

(长春师范大学工程学院,吉林长春 130032)

[摘要] 本文采用化学复合镀工艺在钛合金基体上共沉积 Ni - P - PTFE 复合镀膜,并和传统的 Ni - P 镀层进行了对比,研究这两种镀层及钛合金基体在相同条件下的摩擦磨损性能。实验结果表明,化学镀 Ni - P 镀层和化学复合镀 Ni - P - PTFE 镀膜都具有良好的耐磨和减摩性能,其中 Ni - P - PTFE 复合镀膜的效果更为明显,可将钛合金表面的摩擦系数降至 0.13 左右。

[关键词] 化学复合镀;钛合金;Ni - P - PTFE 复合镀膜;耐磨

[中图分类号] TG174 [文献标识码] A [文章编号] 2095 - 7602(2014)04 - 0025 - 04

钛合金具有比强度高、热强性好、耐腐蚀等优点,已成为航空、航天、火箭、导弹、舰艇及能源化工等国防和民用工业部门的重要结构材料,发展前景十分广阔,但钛合金耐磨性能差,对黏着磨损和微动磨损非常敏感,这些问题使钛及其合金的应用受到了限制,因此也成为钛合金材料研究领域的热点之一<sup>[1-2]</sup>。

化学镀 Ni - P 镀层具有优异的耐蚀性、耐磨性、可焊性以及良好的结合强度<sup>[3-4]</sup>,为了进一步提高 Ni - P 镀层的耐磨减摩性能,可在传统的镀液中加入润滑粒子,如聚四氟乙烯(PTFE)、MoS<sub>2</sub> 或石墨等与 Ni - P 镀层共沉积,从而产生良好的自润滑效果,其中 PTFE 因具有良好的化学稳定性、耐高低温性能,尤其是该粒子比其他聚合物具有更低的摩擦系数而受到重视,所制备的复合镀层已成功地应用于许多行业<sup>[5-7]</sup>。

本文采用化学复合镀工艺在钛合金基体上制备 Ni - P - PTFE 复合镀膜,分析了其形貌特征并讨论了 PTFE 对复合镀膜的摩擦磨损性能的积极影响。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验材料与工艺流程

实验材料:采用钛合金 TC4(Ti6Al4V)为基体材料,规格:40mm × 20mm × 1mm。

工艺流程:试样磨制 → 表面除油 → 超声清洗 → 酸洗活化 → 闪镀镍 → 化学镀镍 → 化学复合镀。

### 1.2 镀液组成与工艺条件

表1 化学镀镍工艺和 Ni - P - PTFE 化学复合镀工艺

组成及工艺参数	Ni - P	Ni - P - PTFE
NiSO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O	20 g · L <sup>-1</sup>	20 g · L <sup>-1</sup>
NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub>	20 g · L <sup>-1</sup>	20 g · L <sup>-1</sup>
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	22 ml · L <sup>-1</sup>	22 ml · L <sup>-1</sup>
CH <sub>3</sub> COONa	10 g · L <sup>-1</sup>	10 g · L <sup>-1</sup>
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	10 g · L <sup>-1</sup>	10 g · L <sup>-1</sup>
PTFE (60 wt%)	0	2 ~ 20 ml · L <sup>-1</sup>
FC - 4	0	0.1 ~ 0.6 g · L <sup>-1</sup>
pH	4.0 ~ 5.5	4.0 ~ 5.5
温度	85 ~ 90 °C	85 ~ 90 °C

[收稿日期] 2014 - 04 - 06

[作者简介] 吴迪(1987 - ),女,吉林长春人,长春师范大学工程学院助教,硕士,从事金属材料研究。

PTFE 属于高疏水性物质,要获得复合镀膜,必须与相关的表面活性剂配合使用。本文采用中 FC-4 型氟碳表面活性剂,其具有良好的化学稳定性和热稳定性。由于阳离子表面活性剂在 PTFE 粒子表面强烈吸附,使 PTFE 的电动电势变正<sup>[8-9]</sup>,而镀件表面带负电荷,由于异种电荷相互吸引,故 PTFE 微粒很容易镀到镀件上去,从而实现了与 Ni-P 共沉积。PTFE 粒子与 Ni-P 合金共沉积是形成复合镀膜的关键,必须经过吸附-镶嵌-包埋三个阶段,如图 1 所示。

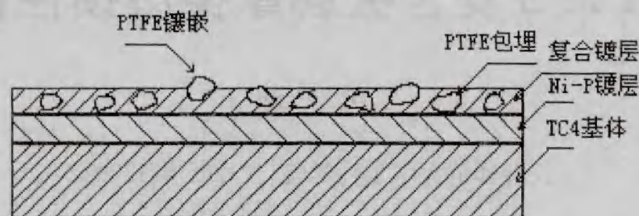


图 1 复合镀膜的结构

## 2 结果与分析

### 2.1 镀膜的表面形貌

TC4 钛合金经前处理及化学镀镍后在其表面形成 Ni-P 合金镀层,该镀层表面呈银灰色,有光泽;经化学复合镀之后,在其表面形成 Ni-P-PTFE 复合镀膜,该镀膜呈暗灰色,腊光表面。

图 2 为 SEM 下观测到的 Ni-P 合金镀层的微观形貌,可见化学镀 Ni-P 合金镀层呈胞状突起表面形貌。胞状物是由试片表面活化中心在沉积反应中逐渐形成的。这些 Ni-P 合金沉积的胞状物逐渐长大彼此连在一起形成镀层。Ni-P-PTFE 复合镀膜的微观形貌如图 3 所示。Ni-P-PTFE 复合镀膜中 PTFE 以黑色颗粒状分布在 Ni-P 合金镀层的表面,粒径为纳米级,颗粒连续分布,非常均匀。

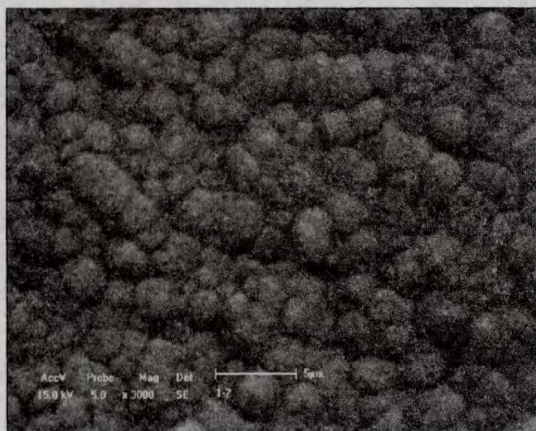


图 2 化学镀 Ni-P 镀层的微观形貌

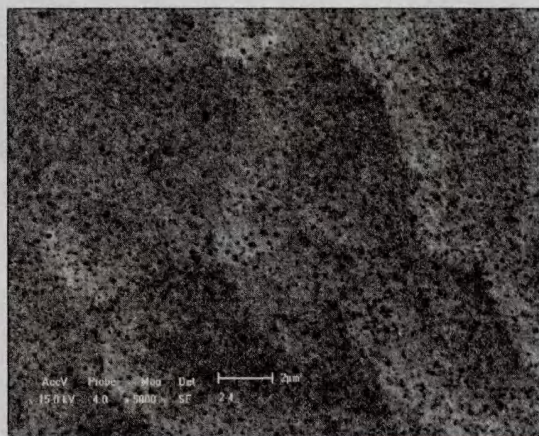


图 3 Ni-P-PTFE 镀膜的微观形貌(黑色斑点即为 PTFE 粒子)

### 2.2 镀膜的摩擦磨损性能

采用 MM-W1A 立式万能摩擦磨损试验机进行试验。在相同的实验条件下,分析了钛合金基体、Ni-P 镀层和 Ni-P-PTFE 复合镀膜的摩擦系数随摩擦时间的变化情况以及此过程中磨损量的情况。

摩擦系数随摩擦时间的变化情况如图 4 所示,摩擦试验条件为室温下、载荷 50N、转速  $50\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。TC4 钛合金基体的摩擦系数较高大约在 0.5 和 0.6 之间,Ni-P 镀层的摩擦系数较 TC4 钛合金基体有所下降,大约在 0.37 左右,而 Ni-P-PTFE 复合镀膜摩擦系数明显变小,当 PTFE 含量为 26.4v% 时,Ni-P-PTFE 镀膜的摩擦系数下降至 0.13 附近。

图 5 为钛合金基体、Ni-P 镀层和 Ni-P-PTFE 复合镀膜在  $50\text{N}$ 、 $50\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  磨损条件,10min 内的磨损量测试结果。TC4 钛合金的磨损量最大为 0.79mg,而 Ni-P 镀层的磨损量有所下降;复合镀膜的磨损量比 Ni-P 镀膜的磨损量更小。由此可知,相对于 Ni-P 镀层,Ni-P-PTFE 复合镀膜具有更好的耐磨减摩性能。

以上摩擦磨损试验结果表明,经化学镀得到的 Ni-P 镀层和 Ni-P-PTFE 复合镀膜都可以有效地改善钛合金的耐磨性能并降低其摩擦系数,Ni-P-PTFE 的复合镀膜更为明显。这是因为 PTFE 粒子均匀镶嵌在

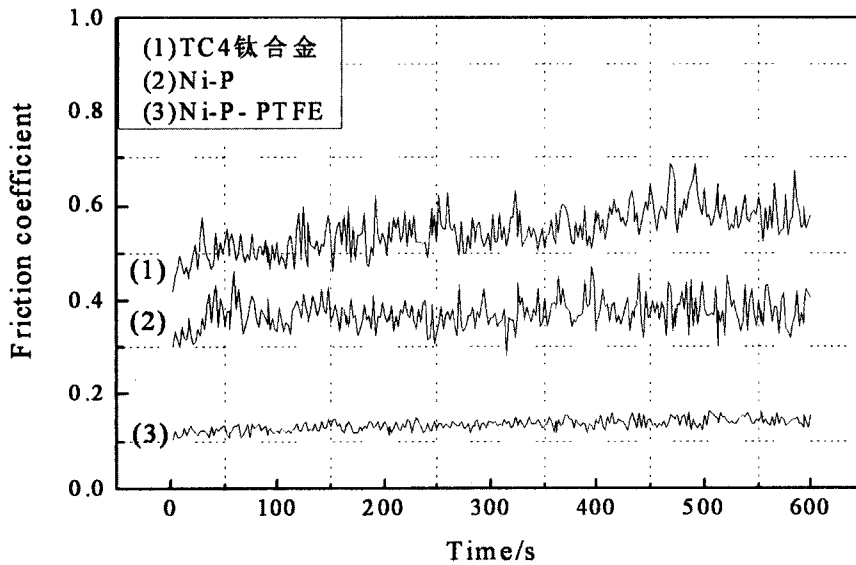


图4 钛合金基体、Ni-P 镀层和 Ni-P-PTFE 复合镀膜在磨损过程中的摩擦系数变化

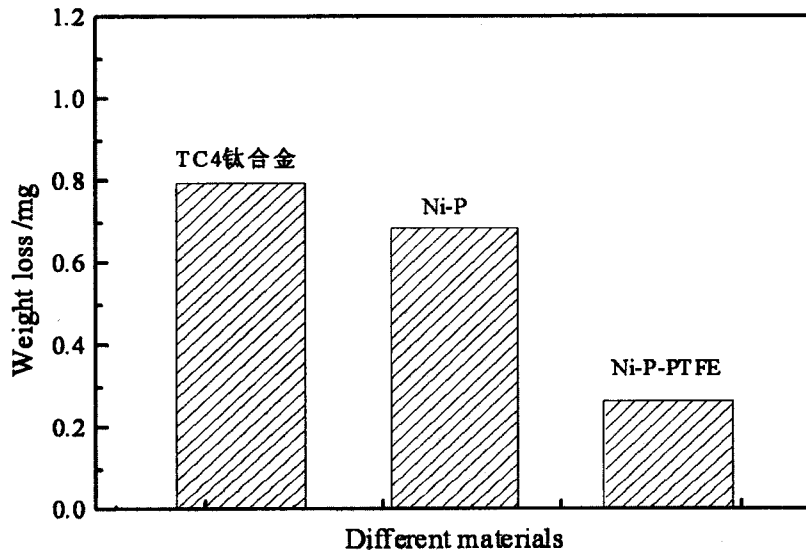


图5 钛合金基体、Ni-P 镀层和 Ni-P-PTFE 复合镀膜在磨损过程中的磨损量

镀膜中,在摩擦过程中,Ni-P 合金起支撑作用承担了大部分载荷,而嵌入的 PTFE 粒子则起减摩润滑作用,复合镀膜中软质点的 PTFE 微粒在磨损过程中,能够弥散在镀膜整个表面形成薄薄的一层 PTFE 薄膜,这层薄膜具有良好的自润滑性<sup>[10]</sup>,能够减小镀膜的摩擦因数,提高镀膜的耐磨性。

### 3 结论

(1) 经过除油、酸洗、活化、闪镀、化学镀镍、化学复合镀等工艺,在 TC4 钛合金表面成功制得具有耐磨减摩效果的自润滑膜(复合镀膜)。镀膜表面呈暗灰色,腊光表面,结合紧密,无孔隙缺陷。

(2) Ni-P-PTFE 复合镀膜都能大幅度降低 TC4 钛合金摩擦系数,提高其耐磨性能,而且随着复合镀膜中 PTFE 含量的增加,其摩擦系数减小,摩擦磨损过程趋于平稳;当 PTFE 含量为 26.4v% 时,复合镀膜的摩擦系数下降至 0.13 左右。

### [参考文献]

- [1] 张喜燕,赵永庆,白晨光. 钛合金及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] Kathy W. The Use of Titanium for Medical Application in USA[J]. Materials Science & Engineering, 1996(213):134-136.

- [3] 胡文彬,刘磊,仵亚婷,等. 难镀基材化学镀镍技术[M]. 北京:化学工业出版社,2003:1-4.
- [4] G. Straffelini, D. Colombo, A. Molinari. Surface durability of electroless Ni-P composite deposits[J]. Wear, 1999(236):179-188.
- [5] Pietsch Karl-Heinz. Dispersion coatings with PTFE[J]. Products Finishing, 1999, 63(2):34-39.
- [6] Ming Der Ger, K. H. Hou, L. M. Wang. The friction and wear of Ni-P-PTFE composite deposits under water lubrication [J]. Materials Chemistry and Physics, 2002(77):755-764.
- [7] 仵亚婷,刘磊,高加强,等. 自润滑 Ni-P-PTFE 化学复合镀工艺及镀层性能[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(2):206-210.
- [8] Hu X, Dai C. Zeta Potential and codeposition of PTFE particles suspended in electroless nickel solution[J]. Plating and Surface Finishing, 1997, 84(3):40-42.
- [9] L. H. Li, H. W. Kim, S. H. Lee, et al. Biocompatibility of Titanium Implants Modified by Microarc Oxidation and Hydroxyapatite Coating[J]. Journal of Biomedical Materials Research Part A, 2005, 73(1):48-54.
- [10] Ming Der Ger, Bing Joe Hwang, et al. Effects of Surfactants on Codeposition of PTFE Particles with Electroless Ni-P Coating [J]. Materials Chemistry and Physics, 2001, 76(5):38-45.

### A Study of the Tribological Wear Properties of Electroless Ni-P-PTFE Composite Coatings

WU Di

(College of Mechanical Engineering, Changchun Normal University, Changchun Jilin 130032, China)

**Abstract:** In this study, electroless Ni-P-PTFE composite coatings on titanium alloy were compared to traditional Ni-P coating. The friction and wear properties of the both coating samples and titanium alloy were analyzed in the same condition. The results showed that both co-deposition of Ni-P and PTFE have a good wear resistance and antifriction properties. Co-deposition PTFE can obviously decrease the friction coefficient of the titanium alloy which can be reduced to 0.13.

**Key words:** Electroless composite plating; Titanium Alloy; Electroless Ni-P-PTFE composite coatings; Wear resistance

(上接第 24 页)

[参考文献]

- [1][美]罗伯特·J·巴罗. 经济增长[M]. 上海:格致出版社,2010:13-186.
- [2][美]戴维·N·韦尔. 经济增长[M]. 北京:中国人民大学出版社,2011:1-286.
- [3][美]霍伊. 经济数学[M]. 北京:中国人民大学出版社,2006:748-859.

### Investment and Industry Optimal Growth Path

—Taking yongan forestry as an example

YAN Jing-hua

(Fujian Vocational College Of Agriculture, Fuzhou Fujian 350007, China)

**Abstract:** In this study, through industrial dynamic revenue model, the optimal control theory was used to describe the process of industry growth. The study found that high investment rate would only slow down the capital gains to reduce speed; increased capital reduces the marginal revenue; and high investment rate means a higher rate of investment is needed to achieve the optimal benefit in the future.

**Key words:** return on capital; investment rate; optimal growth industry