

$n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni-P}$ 复合电刷镀层的组织及摩擦磨损特性*

向永华, 董世运, 徐滨士

(装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘要: 研究了镍磷基纳米 Al_2O_3 复合电刷镀层($n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni-P}$)的组织特征及摩擦磨损特性, 并与镍磷合金刷镀层进行了比较。结果表明: $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni-P}$ 复合刷镀层表面粗糙度更小, 组织有明显的细化倾向; 当镀液中 $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量为 20 g/L 时, 复合刷镀层的硬度最高, 达 561 HV, 是 Ni-P 镀层硬度的 1.3 倍, 此时复合镀层的耐磨性也最好, 磨损失重相比于 Ni-P 镀层, 减少 60 % 以上。

关键词: Ni-P; 纳米电刷镀; 组织; 磨损

中图分类号: TG174.441

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2005)02-0015-04

Microstructure, Friction and Wear Characteristics of Brush-Plated $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni-P}$ Composite Coating

XIANG Yong-hua, DONG Shi-yun, XU Bin-shi

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072)

Abstract: Comparing with nickel-phosphorous alloy coating the microstructure, friction and wear characteristics of brush-plated nickel-phosphorous composite coatings containing nano alumina particles($n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni-P}$) were studied. The results showed that the composite coating has much lower surface roughness and clear tendency of refinement in microstructure. The hardness of composite coating reached maximum, about 1.3 times that of Ni-P coating, when the content of $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ was up to 20 g/L. The wear resistance of composite coating with 20 g/L $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ particles in brush-plating solution was also excellent, its weight loss was reduced 60 % compared with Ni-P coating.

Key words: nickel-phosphorous; nano brush plating; microstructure; wear

0 引 言

电刷镀技术是提高机械装备零部件性能与维修、再制造中广泛采用的一种表面技术。由于单一金属或合金镀层在耐磨性及高温性能等方面的局限性, 在金属基体中加入细小陶瓷粒子的复合电刷镀技术近年来得到了发展^[1,2]。对快镍体系的纳米电刷镀层的研究表明, 镍基纳米电刷镀层比相应的镍镀层具有更高的硬度, 更好的耐磨性、抗接触疲劳性能和耐高温性能等^[3,4]。

Ni-P 合金镀层由于具有优异的耐蚀性和良好的耐磨性, 已被广泛应用于各个领域。现在, 以 Ni-P 非晶态合金为基体, 采用化学镀、电镀、电刷镀等方法, 使硬质颗粒 Al_2O_3 、SiC、WC 等与之共沉积, 形成复合镀层, 成为当前研究的热点之一^[5-8]。但由于加入的微粒多为微米级, 使镀层

性能受到了限制。文中采用电刷镀技术, 在 Ni-P 镀液中加入添加剂和 $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ 颗粒获得具有良好纳米粉分散性和悬浮稳定性的复合镀液, 制备出 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni-P}$ 复合刷镀层, 并分析其组织特征和摩擦磨损特性。

1 试 验

镀层组织分析及硬度测试试样为 45# 钢材料, 尺寸为 100 mm×25 mm×2 mm。刷镀前在镀液中加入一种固体盐分散剂, 待充分溶解后加入 $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ 颗粒(颗粒尺寸为 30~50 nm), 加入盐的含量为 20 g/L, 同时加入适量其他表面活性剂, 经超声分散和球磨, 获得纳米颗粒分散和悬浮性很好的复合镀液。然后, 在 45# 钢试样表面进行刷镀, 刷镀工艺过程为: 电净→2# 活化→3# 活化→刷镀特镍底层→刷镀复合刷镀层, 复合刷镀层工作电压 10 V, 刷镀时间 60 min, 镀层厚度 80 μm。

采用 PHILIPS XL30 型扫描电子显微镜(SEM)观察镀层的表面形貌, 采用该扫描电子显微镜自带的

收稿日期: 2004-10-26; 修回日期: 2004-12-29

基金项目: *国家自然科学基金重点项目(50235030)

作者简介: 向永华(1977-), 男(汉), 湖北公安人, 硕士生。

能谱仪进行镀层能谱分析。采用 D8 ADVANCE 型 X 衍射仪进行镀层结构分析。

沿复合刷镀层横断面截取试样,采用 IIMT-3 显微硬度计测试镀层的显微硬度,加载载荷 1 N,加载时间 15 s。显微硬度值取 5 个点测量结果的平均值。

摩擦磨损试验在 MM-200 摩擦磨损试验机上进行。测试试样尺寸(包含刷镀层厚度)为 30 cm×30 cm×10 cm,偶件为 ϕ 40 cm×10 cm 的圆盘,经淬火处理。试验参数为:载荷 10 kg;试验时间 30 min;转速 200 r/min;干摩擦。以试验前后试样的失重来评价镀层的磨损性能。如图 1 所示,为 MM-200 磨损试验的原理示意图。

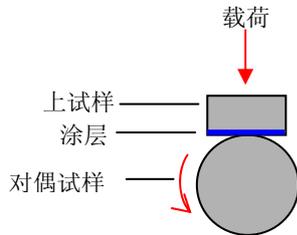


图 1 MM-200 试验机原理图

Fig.1 The sketch map of MM-200 tester

2 镀层的形貌、成分及结构分析

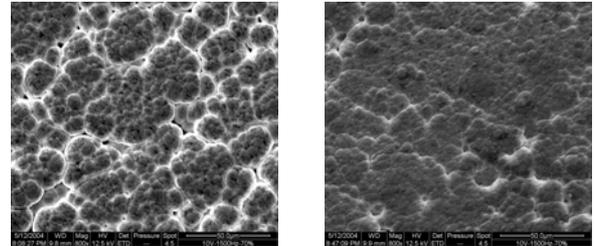
2.1 纳米颗粒对镀层表面形貌影响

图 2 为 Ni-P 合金镀层与加入 n-Al₂O₃ (20 g/l) 制备的复合镀层的形貌对比。可见,复合刷镀层表面形貌与 Ni-P 合金镀层的表面形貌具有一定的相似性,表面均很致密平整,但相比于 Ni-P 镀层,复合镀层有明显的细化倾向,这说明纳米颗粒的加入影响了镀层的沉积和生长过程, n-Al₂O₃ 颗粒为 Ni-P 合金的沉积提供了大量核心,使沉积时的形核率显著增加,而胞状物的长大则受到抵制,由于 n-Al₂O₃ 颗粒在镀层表面的弥散沉积,阻碍了 Ni-P 合金在 n-Al₂O₃ 颗粒沉积点位置的连续生长,从而使复合刷镀层的组织更细小,表面更加致密平整。

2.2 纳米颗粒浓度对镀层 P 含量及纳米颗粒共析量的影响

图 3 所示为普通 Ni-P 镀层与加入 n-Al₂O₃ 分别为 10 g/l、20 g/l、30 g/l 制备复合镀层的能谱图。图 4、图 5 为根据能谱分析得出的曲线,结果表明,

随着纳米颗粒的加入,镀层中的磷元素含量逐渐降低,而纳米颗粒的含量逐渐增高。这说明纳米颗粒的加入,对镀层 P 元素的沉积有影响,镀层中纳米颗粒含量随镀液中纳米颗粒含量的升高而升高,而镀层中 P 元素的含量随纳米颗粒的增加而降低。



(a) Ni-P 合金镀层 (b) n-Al₂O₃/Ni-P 复合镀层

图 2 镀层表面形貌

Fig.2 SEM morphologies of Ni-P coating and Ni-P composite coating

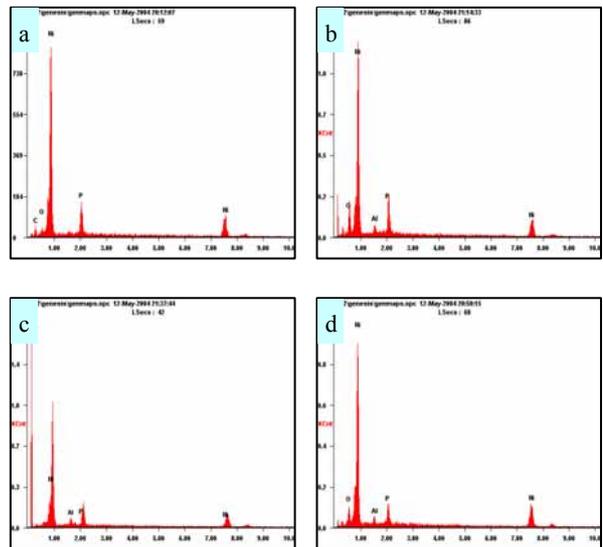


图 3 镀层 EDS 分析 (a) 为 Ni-P 镀层, (b)、(c)、(d) 分别为 n-Al₂O₃ 含量为 10 g/l、20 g/l、30 g/l 的复合镀层

Fig.3 EDS analysis of coatings of (a) Ni-P coating, (b), (c), (d) composite coatings with n-Al₂O₃ concentration of 10 g/L, 20 g/L and 30 g/L

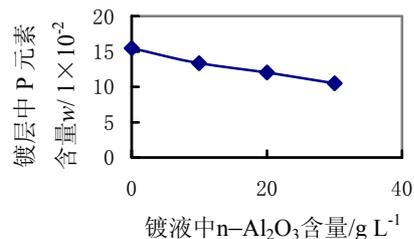


图 4 镀层中 P 元素量与镀液中 n-Al₂O₃ 的关系

Fig.4 The relationship of P content and nano-particles in plating solution

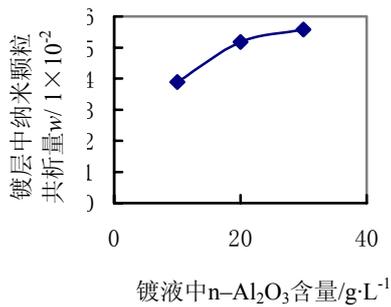


图 5 镀层中纳米颗粒共析量与镀液中n-Al₂O₃的关系
Fig.5 The relationship of n-Al₂O₃ contents in coating and in solution

2.3 纳米颗粒对镀层结构影响

图 6 为Ni-P合金镀层与n-Al₂O₃/Ni-P复合镀层的XRD衍射图谱,由图 6 可知,两种镀层的X射线衍射图像均呈“馒头包”状,且衍射峰在2θ=45°处最强,向两侧漫散开来,这说明n-Al₂O₃/Ni-P复合镀层未改变Ni-P合金镀层的非晶态结构。

3 镀层性能及分析

3.1 显微硬度

图 7 为复合刷镀层显微硬度与镀液中纳米颗粒含量的关系曲线。可见,随着镀液中纳米颗粒含量增加,复合刷镀层的显微硬度提高;当镀液中纳米颗粒达 20 g/L 时,复合刷镀层显微硬度值最大,达 561 HV,比快镍镀层的显微硬度值(432 HV)提高 30%;随后,镀层硬度又呈明显的下降趋势。

上述结果表明,n-Al₂O₃颗粒对复合刷镀层起到了强化作用。随镀液中n-Al₂O₃颗粒含量增加,复合刷镀层中纳米颗粒含量相应有所增加,从而使得复合刷镀层的硬度等性能相应提高。但是,镀液中n-Al₂O₃颗粒含量的增加会相应增加其颗粒在镀液中的团聚性,使得镀液中存在较多的纳米颗粒团聚体,这些团聚体在刷镀过程中沉积在复合刷镀层中而引入原始裂纹,并且影响镀层的沉积生长过程,增大镀层的内应力,使得复合刷镀层组织变得疏松,从而硬度等性能降低,在试验中也发现,当镀液中纳米颗粒含量过高时,会出现明显的镀层起皮现象。

3.2 摩擦磨损性能

图 8 为采用MM200 试验机进行磨损试验后Ni-P合金刷镀层和复合刷镀层的磨损失重比较。可以看出,Ni-P合金刷镀层的磨损失重最大,镀液中n-Al₂O₃颗粒含量为 20 g/L 的纳米复合刷镀

层的磨损失重最小,比Ni-P刷镀层降低 60%以上。可见,在Ni-P合金镀液中加入n-Al₂O₃颗粒可以提高镀层的耐磨性,这说明n-Al₂O₃弥散分布在Ni-P合金镀层中,成为镀层的增强相,从而提高了复合镀层的耐磨性。

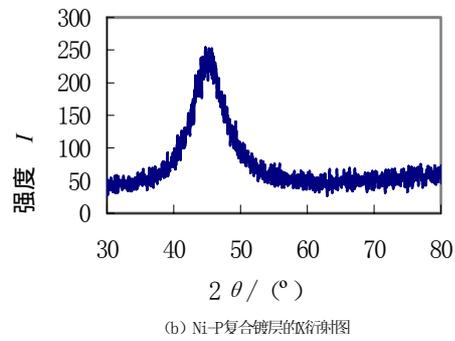
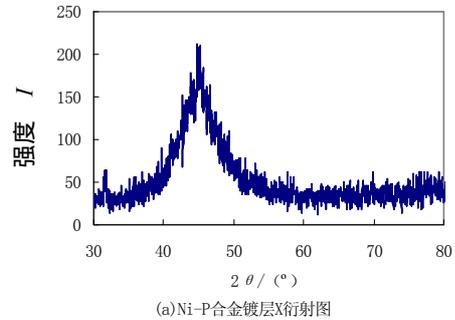


图 6 Ni-P 刷镀层及其复合镀层的 XRD 谱
Fig.6 XRD patterns of Ni-P coating and Ni-P composite coating

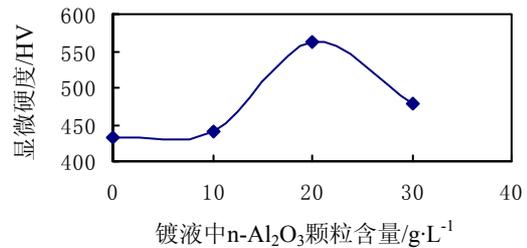


图 7 n-Al₂O₃颗粒对硬度的影响
Fig.7 The effect of n-Al₂O₃ concentration on hardness

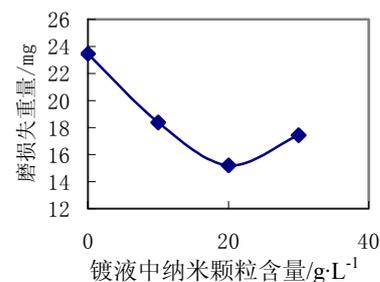


图 8 镀层磨损失重与镀液中纳米颗粒含量关系
Fig.8 The relationship of wear weight loss of plating layer with n-Al₂O₃ concentration

4 结 论

(1) 采用复合电刷镀技术制备了n-Al₂O₃/Ni-P复合刷镀层,与Ni-P合金镀层相比,复合镀层表面更加致密平整。X衍射分析表明,n-Al₂O₃/Ni-P复合刷镀层未改变镀层的非晶态结构。

(2) n-Al₂O₃/Ni-P复合刷镀层的硬度均比Ni-P合金镀层的硬度高,当镀液中纳米颗粒含量为20 g/L时,复合镀层获得硬度最大值561 HV,为Ni-P合金镀层(432 HV)的1.3倍。

(3) 摩擦磨损试验表明,n-Al₂O₃/Ni-P复合刷镀层的耐磨性优于Ni-P合金镀层,当镀液中纳米颗粒含量为20 g/L时,复合刷镀层具有最佳耐磨性能,磨损失重相对于Ni-P合金镀层了60%以上。说明n-Al₂O₃粒子的加入,能有效改善Ni-P的耐磨性能。

参考文献:

- [1] Lin W J, Chen J X, Chen J Z. Composite brush plated coating with application in the die industries [J]. Metal Finishing, 1998,96(5):3-5.
- [2] 徐滨士,董世运,马世宁,等. n-Al₂O₃/Ni复合刷镀层的组织和摩擦磨损特性 [J]. 材料保护, 2002,35(6): 6-9.
- [3] 徐龙堂. 电刷镀镍基含纳米粉复合镀层性能、结构和共沉积机理 [D]. 北京:北京工业大学,2002.
- [4] 蒋斌. 纳米颗粒复合电刷镀镍基镀层的强化机理及其性能研究 [D]. 重庆:重庆大学,2003.
- [5] 张翼,沈光伟,李亚文,等. Ni-P/Al₂O₃复合镀层 [J]. 大庆石油学院学报. 1998,22(2):32-36.
- [6] Losiewicz B, Stepien A, Gierlotka D, Budniok A. Composite layers in Ni-P system containing TiO₂ and PTFE [J]. Thin Solid Films. 1999 (349): 43-50.
- [7] Mehta S C, Smith D A, Erb. U. Study of grain growth in electrodeposited nanocrystalline nickel-1.2% phosphorus alloy [J]. Materials Science and Engineering. 1995(A204): 227-232.
- [8] 谢华,陈文哲,钱匡武. Ni-P-UFD复合镀层的晶化 [J]. 中国有色金属学报,2001,11(4):621-625.

作者地址:北京丰台杜家坎21号 100072
装备再制造技术国防科技重点实验室
Tel:(010)66719225 手机:13331090855

(上接第14页)

(2) 表面改性后,复合粉体包覆完全,分散均匀,无明显团聚,大部分呈球形,可以改善纳米SiC颗粒在Cu基合金中的分散性和相容性。

(3) 复合粉体的Cu包覆层在空气中部分氧化生成了Cu₂O,可根据需要进行适当的处理,避免其应用时产生不利影响。

参考文献:

- [1] 吴人洁. 复合材料 [M]. 天津:天津大学出版社,2000.
- [2] Mitchell T D Jr, De Jonghe L C. Processing and properties of particulate composites from coated powders [J]. J. Am. Ceram. Soc, 1995, 78(1): 199.
- [3] Djuricic B, McGarry D, Pickering S. The preparation of ultra-fine ceria-stabilized zirconia particles coated with yttria [J]. J. Mater. Sci. Lett, 1993,12:1320-1323.
- [4] Assmann S, Eisele U, Bo der H. Processing of Al₂O₃/SiC composites in aqueous media [J]. J. Eur.Ceram. Soc, 1997, 17: 309-317.
- [5] Timms L A, Ponton C B. Processing of Al₂O₃/SiC nanocomposites—part 1: aqueous colloidal processing [J]. J. Eur. Ceram. Soc, 2002, 22: 1553-1567.
- [6] Wang H Z, Gao L, Gui L H, et al. Preparation and properties of intragranular Al₂O₃-SiC nanocomposites [J]. Nanostructured Materials, 1998, 10: 947-953.
- [7] Zhang Ju-Xian, Gao Long-qiao. Nanocomposite powders from coating with heterogeneous nucleation processing [J]. Ceram. Int, 2001, 27: 143-147.
- [8] Wang Chong-min, Riley F L. Alumina-coating of silicon nitride powder [J]. J. Eur.Ceram.Soc, 1992, 10: 83-93.
- [9] Zhang Rui, Gao Lian, Guo Jing-kun. Preparation and characterization of coated nano-scale Cu/SiCp composite particles [J]. Ceram. Int, 2004, 30: 401-404.
- [10] 赵弘,管毓凤,朱兵,等. 普通化学 [M],上海:华东师范大学出版社,1992:253.

作者地址:北京市丰台区杜家坎21号 100072
装甲兵工程学院 装备再制造工程系
Tel:(010)51132090
E-mail:lichao799@126.com

