

自动化 n-Al₂O₃/Ni 复合电刷镀层的组织及高温耐磨性能

张 斌, 徐滨士, 董世运, 吴 斌

(装甲兵工程学院 装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 采用自主研发的自动化电刷镀设备及技术制得含纳米 Al₂O₃ 复合电刷镀层, 对比研究了手动与自动刷镀层的摩擦磨损性能。通过试验得知, 相对于手动刷镀层, 自动化刷镀层表面更加均匀、组织更加致密、显微硬度更高。高温滑动摩擦磨损试验表明, 自动化刷镀层的耐磨性能随温度的升高而降低。

关键词: 自动化电刷镀; 复合刷镀层; 高温耐磨性能

中图分类号: TG174.441

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05⁺-0263-04

Structure and Wear Resistance at Elevated Temperature of Auto-brush plating n-Al₂O₃/Ni Composite Coatings

ZHANG Bin, XU Bin-shi, DONG Shi-yun, WU Bin

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072, China)

Abstract: Nano-particle reinforced nickel matrix composite coatings, n-Al₂O₃/Ni, was prepared by manual-brushplating and auto-brushplating technologies respectively. Structure and friction wear properties of the two kinds of coatings were investigated. For the auto-coating, the surface is smooth and the structure is denser, as compared with the manual-coating. Results of the friction wear testing at elevated temperature show that the wear resistance of auto-coating decreases with the increase of temperature.

Key words: auto-brush plating; brush plating composite coating; wear resistance at elevated temperature

0 引 言

纳米颗粒复合电刷镀技术是上世纪九十年代兴起的一项表面处理新技术, 把具有特定性能的纳米颗粒加入电刷镀液中获得纳米颗粒弥散分布的复合电刷镀层, 这种镀层的耐磨、耐高温性能更好, 硬度更高^[1,2]。但是以往的手动操作生产效率低下, 无法满足日益发展的再制造需要, 而且刷镀效果受工人经验和生产环境影响较大。为了克服这种不利因素, 充分发挥纳米电刷镀这一先进技术, 我们研制了自动化纳米复合电刷镀技术。该技术的优势在于①镀层质量稳定, 性能优异; ②能适应恶劣环境以及高强度刷镀任务; ③工人操作方便并且不受限于工作经验; ④效率显著提高, 适合大规模工业

化生产需要。

近年来, 虽然电刷镀技术发展很快, 与多种其他表面工程技术的复合运用也取得很大进展, 但电刷镀的自动化发展却始终停滞不前, 谈不上规模化工业推广应用, 前人对自动化镀层的组织与性能评价也尚未涉及。本文采用自动化纳米复合电刷镀设备制备了含纳米 Al₂O₃ 颗粒的镍基复合刷镀层, 对比手动电刷镀层进行了组织观察及性能研究, 为进一步开发和利用自动化电刷镀技术提供了第一手资料。

1 试验方法与试验设备

1.1 镀层制备

试验中所用的 n-Al₂O₃ 颗粒粒径为 30~50 nm, 这一粒径范围的纳米颗粒将比较容易在镀液中悬浮和在镀层中弥散分布^[3]。将纳米颗粒按一定比例加入到快速镍溶液中, 经高能机械化学法^[4]充分搅

收稿日期: 2006-08-10 修回日期: 2006-09-15

基金项目: *国家自然科学基金重点项目(50235030)和武器装备预研基金(编号略)资助。

作者简介: 张斌(1978-), 男(汉), 河南省午钢市人, 博士研究生。

拌均匀,直至颗粒不再团聚并在镀液中均匀悬浮。复合刷镀液中纳米颗粒含量为 20 g/L。

试验用电源为 MS-100 型电刷镀电源,在 45 钢基体表面进行手动和自动刷镀,制备出 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 复合刷镀层。其中,手动刷镀和自动刷镀采用相同的工艺规范,其工艺过程如表 1 所示。

表 1 电刷镀工艺过程及参数

Table 1 Procedures and processing parameters of brush plating

工序	名称	电压/V	时间/s
1	表面准备,除油污等	——	根据需要
2	电净	正接 10	30
3	活化 2#	反接 10	60
4	活化 3#	反接 20	60
5	镀打底层	正接 12	120
6	镀工作层	正接 12	根据需要
7	后处理	——	根据需要

1.2 自动化电刷镀设备

图 1 为自主研发的自动化电刷镀系统的照片。整套系统由计算机、传感器、刷镀机床、供液系统和控制柜等部分组成。试验用刷镀机床为自主设计,刷镀部件具有三自由度,由 PCI-8132 型运动控制卡协调运动过程;传感器包括有电压、电流、温度传感器等等,由 NI6024E 型数据采集卡统一进行数据采集和整理并连于计算机;另外刷镀过程刷镀液的连续供液、电源电压、工件(刷镀笔)的运动、刷镀时间等均由计算机控制。



图 1 自动化电刷镀设备

Fig. 1 Auto-brush plating equipment

1.3 试验方法

手动和自动刷镀 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 镀层的表面形貌采用配备有能谱分析仪的 Quanta200 型环境扫描电子

显微镜(SEM-EDS)观察。高温滑动磨损试验所用设备为 T-11 型高温球-盘式磨损试验机,试样盘为 45# 钢材材料,尺寸为 $\phi 25.4\text{ mm} \times 6\text{ mm}$,在其上刷镀 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 复合镀层,镀覆厚度约为 80~120 μm ;对偶件为直径 6.35 mm 陶瓷球;试样盘表面磨损轨迹为直径 20 mm 圆环。试验条件分别为:滑行速度 0.1 m/s,试验力 10 N,试验时间 5 000 s,试验温度分别为 20 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $^{\circ}\text{C}$ 、200 $^{\circ}\text{C}$ 、400 $^{\circ}\text{C}$ 。磨损试验后,采用读数显微镜测量磨痕宽度,由磨痕宽度大小评价复合刷镀层的耐磨性能。磨痕宽度越大,说明镀层的耐磨性能越差。

2 试验结果及分析

2.1 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 复合电刷镀层的表面形貌与截面组织

图 2 为自动和手动 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 复合电刷镀层的表面形貌与截面组织对比。

其中图 2(a)与图 2(b)分别为两种刷镀方式所制备的 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 复合刷镀层的表面形貌。对比两图可以看出:手动纳米复合刷镀层表面比较粗糙,凹凸不平,绝大部分颗粒都呈现为典型的“菜花头”形状,且本身比较粗大,颗粒之间空隙也较为明显,不够致密(见图 2(b));自动化纳米复合刷镀层的表面比较光滑平整,是由大量尺寸更加细小、分布更加均匀的球状颗粒构成而不是典型的“菜花头”状团簇,虽然颗粒之间的空隙依然存在,不过相比手动镀层明显有所改善(见图 2(a))。这是因为在自动化刷镀过程中镀笔对于工件表面的压力恒定,速度恒定,而且通过对于镀液流量的控制可以使得镀液及镀覆区温度在较小范围内浮动,导致纳米颗粒在工件表面沉积更加均匀(见图 2(b))。

图 2(c)与图 2(d)为两种刷镀方式所制备的 $n\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 复合刷镀层的截面组织照片。两种镀层的截面都呈现出较为明显层状结构,这是由纳米电刷镀的技术特点所决定的,不过通过对比可以看出:手动纳米复合刷镀层的表面粗糙不平,起伏较为明显,纳米复合镀层所特有的层状结构并不连续,镀层中还存在不少的微孔洞和纵向裂纹,有些裂纹甚至达到了镀层中部,整个镀层的截面均由典型的树状结构所组成,明显可以看到粗大颗粒的生长(见图 2(b));而自动刷镀纳米复合镀层表面较为光滑,组织相当致密(孔隙率很低),层状结构

有连为一体的趋势, 另外树状结构并不明显 (见图 2(a))。由自动化刷镀特点可知, 其连续不间断的刷镀过程有益于致密镀层的生成, 截面中层状结构的连续特性也正是因为这一点; 镀层表面的光滑则是因为刷镀过程中镀笔压力与速度恒定所导致的。

2.2 n-Al₂O₃/Ni 复合刷镀层的高温耐磨性能

耐磨性能是评价纳米复合刷镀层作为耐磨涂层的重要性能指标。以往大量试验可以证明, 就手动刷镀技术而言, 向镀液中加入一定量的纳米颗粒可以显著提高金属镍复合刷镀层的耐磨性能^[4~7]。本文着重验证了自动化 n-Al₂O₃/Ni 复合电刷镀层的耐磨性能, 如图 3。

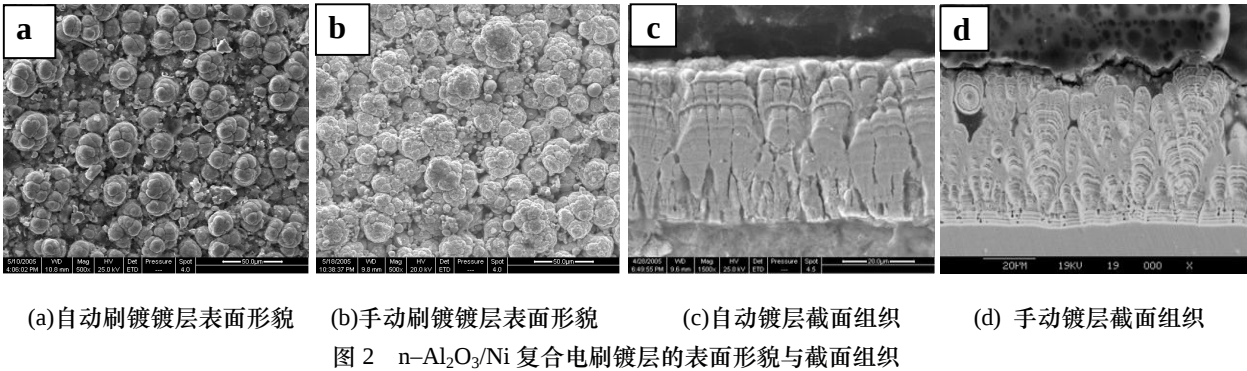


Fig.2 Surface and section morphologies of the n-Al₂O₃/Ni composite coatings (a) surface morphology of the auto-coating (b) surface morphology of the manual-coating (c) section morphology of the auto-coating (d) section morphology of the manual coating

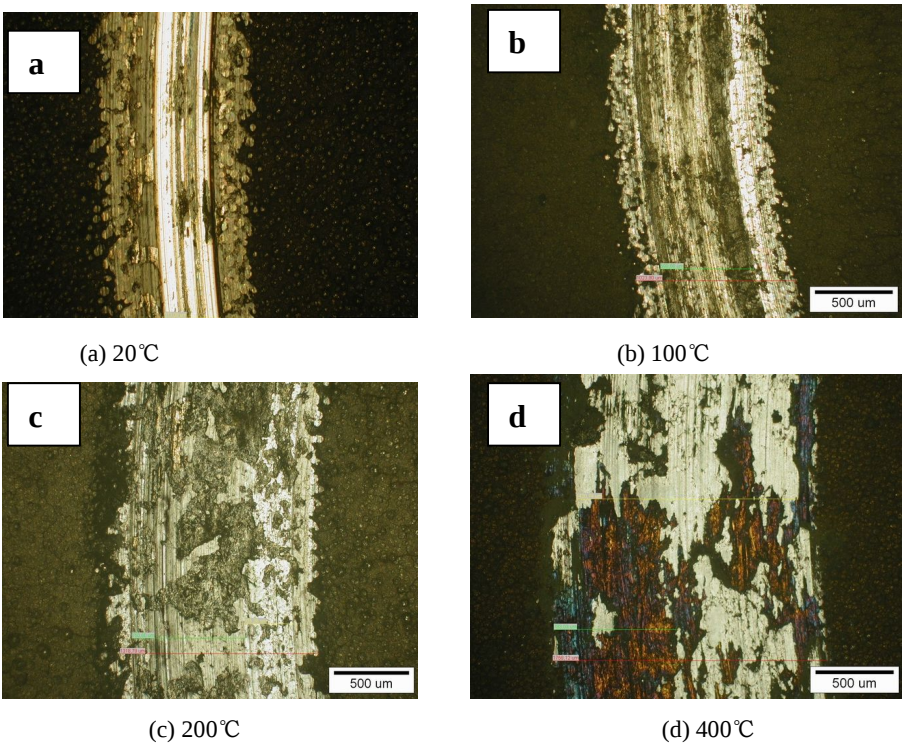


图 3 自动化 n- Al₂O₃/Ni 复合电刷镀层的磨痕形貌

Fig. 3 Worn-surface morphologies of auto n- Al₂O₃/Ni composite coatings

图 2(a)到图 2(d)分别给出了从常温到 400 °C 高温下 n-Al₂O₃/Ni 自动化复合镀层的磨痕形貌。明显可以看出, 随温度的升高, 磨痕宽度也越来越大, 这说明复合镀层的耐磨性能随温度升高而逐渐降

低。因为试样表面在进行试验前未经过打磨处理, 所以在试验过程中磨损较为严重, 特别是在 400 °C 高温下, 大部分镀层被磨损 (如图 4 所示)。在经过打磨处理后, 复合镀层的耐磨性能以及耐受温度

将有所提高。

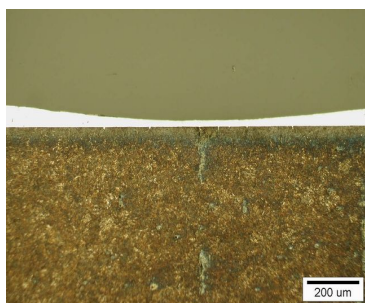


图 4 400 °C 自动复合镀层截面图

Fig.4 Section morphology of auto-coating at 400 °C

2.3 结果讨论

通过能谱对两种镀层进行定量分析, 试验条件与试验材料完全相同。手动刷镀复合刷镀层中 $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ 颗粒含量为 1.73~2.35wt%, 而自动刷镀复合刷镀层中 $n\text{-Al}_2\text{O}_3$ 颗粒含量为 3.60~5.58wt%, 要明显高于手动纳米复合电刷镀层。这是由两种刷镀技术在刷镀过程中不同的特点所决定的。手动刷镀受人为因素影响较大, 压力与速度都无法保持恒定, 特别是当镀笔运行到工件边缘时, 由于工人惯性出现明显的减速运动, 压力也随之变化, 所以有相当一部分纳米颗粒在镀笔的运动过程中被镀液冲刷带走; 自动化电刷镀过程则不然, 无论是运行到工件中部还是边缘, 镀笔移动速度始终恒定, 压力由传感器控制也保持始终一致, 所以纳米颗粒在工件表面的沉积比率有所提高, 镀层中纳米颗粒的含量增加。

因为自动化刷镀过程中镀笔的压力、速度的始终恒定, 纳米颗粒在工件表面沉积比率提高的同时团聚率有所降低; 在刷镀过程中, 温度传感器可以时刻感知镀覆区温度, 通过对镀液力量的控制可以使得镀覆去温度在一个小范围均匀而缓慢的变化, 相对于手动刷镀中温度的无法调控, 自动化刷镀的这一特点使得复合镀层受温度的影响有所减弱; 因此, 相对于手动镀层, 自动化电刷镀层的表面形貌更加光滑, 球状突起细小, 纳米颗粒的分布也更加均匀。

纳米颗粒在镀层中含量提高的同时有效减少了微孔洞和微裂纹的产生几率, 这是由纳米颗粒的特性所决定的, 如图 2(c)所示的那样, 它十分有效的抑制了树枝状晶的产生, 镀层截面中特有的横向层状结构更加的连续, 镀层组织更加致密。

因为纳米颗粒本身的强度和硬度较高, 其作为

硬质点对整个镀层起到支撑作用, 有效的提高了镀层的耐磨性能。而自动化复合镀层由于自动化电刷镀技术的特点而含有更多的纳米颗粒, 它们更好的弥散分布在镀层当中, 很好的起到了强化作用, 所以使得自动化复合镀层的耐磨性能也更加优良^[4~7]。

3 结 论

(1) 自动化刷镀过程为计算机控制, 机械操作, 相对运动速度以及工件表面受力始终保持恒定, 因此纳米颗粒在镀层表面的沉积速度和密度也能基本保持恒定, 所以镀层表面形貌更加光滑, 纳米颗粒的分布也更加均匀, 镀层中的微孔洞以及微裂纹得到有效抑制, 树枝状结构不再明显呈现, 层状结构表现出连续趋势。

(2) 因为自动化刷镀过程中速度恒定, 减少纳米颗粒被镀液冲刷带走概率的同时增加了纳米颗粒在工件表面的沉积比率, 镀层中纳米颗粒含量的增加使得镀层耐磨性能得到改善。

(3) 试验证明, 自动化电刷镀技术可以制备出性能更优于手动刷镀的纳米复合电刷镀层。参考文献:

- [1] 徐滨士, 等. 再制造工程基础及其应用 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005: 156.
- [2] 马亚军, 朱张校, 丁莲珍. 镍基纳米 Al_2O_3 粉末复合电刷镀镀层的耐磨性 [J]. 清华大学学报, 2002, 42(4): 498-500.
- [3] 徐滨士, 董世运, 梁志杰, 等. 纳米颗粒复合电刷镀液料浆的制备方法(专利号: 02101196.6). 国家发明专利, 2002.8
- [4] 徐滨士, 董世运, 涂伟毅. 纳米颗粒复合刷镀层性能研究及其强化机制探讨 [J]. 中国表面工程, 2003, 3: 17-21.
- [5] 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: 重庆大学博士学位论文, 2002: 29-31.
- [6] 徐滨士, 董世运, 涂伟毅. 纳米颗粒对镍刷镀层组织及性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(1): 159-163.
- [7] 黄新民, 吴玉程, 郑玉春. 纳米颗粒对复合镀层性能的影响 [J]. 兵器材料科学与工程, 1999, 22(6): 11-14.

作者地址: 北京市丰台区杜家坎 21 号 100072

Tel: (010) 66718541

Email: zhangbin20m@vip.sina.com

