

自动化 n-SiC/Ni 复合电刷镀层的高温摩擦性能研究

Tribological Properties at Elevated Temperature of Auto Brush Electroplating n-SiC/Ni Composite Coatings

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)

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

(National Key Laboratory for Remanufacturing,

Academy for Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

摘要: 采用自主研制的自动化电刷镀技术制得 n-SiC/Ni 复合电刷镀镀层。对比研究了手动与自动复合电刷镀镀层的组织与摩擦磨损性能。相对于手动电刷镀镀层, 自动化镀层表面形貌更加均匀细化, 组织更加致密, 显微硬度更高。高温滑动摩擦磨损实验表明: 相对于手动电刷镀镀层, 自动化镀层拥有更好的耐磨性能。

关键词: 自动化电刷镀; 复合刷镀层; 高温磨损

中图分类号: TG17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2008-01-0054-04)

Abstract: Nanoparticle reinforced nickel matrix composite coatings, n-SiC/Ni , were prepared by manual brush electroplating and auto brush electroplating technology respectively. Microstructure and friction wear properties of the two kinds of coatings were investigated by comparison. Comparing with the manual coating, the auto coating had smoother surface, denser structure and higher hardness. Results of the friction wear testing at elevated temperature showed that the auto composite coating had superior wear resistance to the manual coatings.

Key words: auto brush electroplating; brush electroplating composite coating; wear at elevated temperature

纳米颗粒复合电刷镀技术是近年来兴起的一项表面处理新技术, 通过纳米颗粒与基质金属共沉积可以获得具有良好耐磨、耐高温特性以及良好硬度的复合镀层^[1-3]。为了克服以往手工刷镀的种种不足, 本工作自主研制了自动化纳米复合电刷镀技术。该技术的优势在于: (1) 刷镀的复合镀层质量稳定, 性能优异; (2) 可以适应恶劣的施工环境以及完成高强度施工任务; (3) 工人操作方便, 并且不受工作经验所限; (4) 适合工业大规模生产需要。

近年来, 电刷镀技术发展很快, 电刷镀工艺也日益完善, 其与多种其他表面技术的复合运用也取得很大进展。但是综观国内外研究报告, 电刷镀的自动化发展却仅仅停留在对刷镀阳极以及刷镀电源的改进上面, 完善的自动化电刷镀技术研究停滞不前, 更谈不上大规模工业推广应用了。

本工作采用自主研制的自动化纳米复合电刷镀设备系统, 制备了含纳米 SiC 颗粒的镍基复合刷镀层, 并

对比手动电刷镀层进行了组织观察及高温耐磨性能研究, 为进一步开发和利用自动化电刷镀技术提供了重要依据。

1 实验方法和设备

1.1 复合刷镀层的制备

实验所用纳米 SiC 颗粒粒径为 30~50nm。把纳米颗粒加入到快速镍电刷镀溶液中, 经高能机械化学法^[4]制得纳米颗粒分散性和稳定性良好的纳米复合电刷镀液。复合刷镀液中纳米颗粒含量为 10g/L。

采用 MS-100 型电刷镀专用电源, 在 45# 钢基体表面进行手动或自动复合电刷镀, 制备出 n-SiC/Ni 复合电刷镀镀层。手动及自动刷镀工艺规范相同, 如表 1 所示。

1.2 自动化电刷镀设备

自动化电刷镀采用自主研制的自动控制电刷镀系

统,图1为原理简图。该系统中,刷镀过程刷中镀液的连续供给、电源电压、工件和刷镀笔的运动、刷镀时间等均由微机控制。

表1 电刷镀工艺规范
Table 1 Procedures and processing parameters of brush electroplating

Procedure	Name	Voltage/V	Time/s
1	Electro-clean	+ 10	30
2	Activation 2 [#]	- 10	60
3	Activation 3 [#]	- 20	60
4	Render	+ 12	120
5	Composite coating	+ 12	Require

1.3 实验方法

镀层的显微硬度采用 MT-3 显微硬度计测试,

载荷为 100g,加载时间为 10s;镀层的表面形貌以及截面组织采用 L3FA 型尼康光学显微镜观察并拍摄照片。

高温滑动磨损实验所用的设备为 T-11 型高温球盘式磨损试验机。试样盘为 45[#] 钢材料,尺寸为 $\phi 25.4\text{mm} \times 6\text{mm}$,在其上表面刷镀 n-SiC/Ni 复合电刷镀层,镀覆厚度约为 80~120 μm ;对偶件为 Al_2O_3 陶瓷球,直径为 6.35mm。实验条件分别为:试样盘表面磨损轨迹为直径 20mm 圆环,滑行速度为 0.1m/s,实验力为 10N,实验时间为 5000s,实验温度分别为 20℃和 200℃。磨损实验后,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。宽度比较大时,表明磨痕的深度较深,这就说明镀层的耐磨性能较差;反之则说明耐磨性能较好。

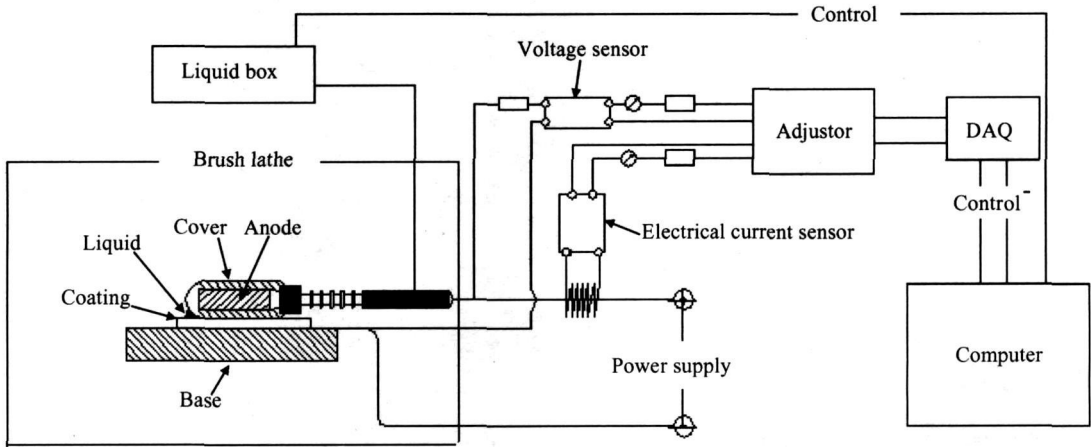


图1 自动化电刷镀系统示意图
Fig. 1 Sketch map of auto brush-plating system

2 结果及分析

2.1 n-SiC/Ni 复合电刷镀层的表面形貌与截面组织

图2为自动刷镀和手动刷镀 n-SiC/Ni 复合镀层的表面形貌与截面组织。图2a, b 为两种刷镀方式所制备的 n-SiC/Ni 复合刷镀层的表面形貌,可以看出:手动纳米复合刷镀层表面呈现出大量的“菜花头”状团簇,颗粒比较粗大;自动化纳米复合刷镀层的表面是由大量尺寸更加细小、分布更加均匀的球状颗粒构成,并且,与手动刷镀纳米复合镀层相比,自动刷镀纳米复合镀层更加致密、光滑和平整。

图2c, d 为两种刷镀方式所制备的 n-SiC/Ni 复合刷镀层的截面组织照片。可以看出:自动刷镀纳米复合镀层的表面光滑,粗糙度较低,组织较致密(孔隙率低);而手动纳米复合刷镀层不仅表面粗糙不平,组织不够致密,并且镀层中还存在有少量微孔洞和纵向裂纹。

2.2 n-SiC/Ni 复合电刷镀层的耐磨性能

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之一。针对手动刷镀技术,以前对金属镍刷镀层和镍基纳米颗粒复合刷镀层的对比研究表明,一定量的纳米颗粒可以显著提高金属镍刷镀层的耐磨性能^[4,5]。为了评价自动纳米电刷镀复合镀层的耐磨性能,本工作将其与手动纳米电刷镀复合镀层进行了对比研究。

图3为手动刷镀和自动刷镀 n-SiC/Ni 复合刷镀层的磨痕表面形貌。图3a, b 分别为室温条件下自动刷镀与手动刷镀 n-SiC/Ni 复合镀层的磨痕形貌,图3c, d 分别为 200℃条件下的磨痕形貌。表2为不同实验温度下两种刷镀方式制备的 n-SiC/Ni 复合镀层的磨痕宽度。相同的实验条件下,磨痕越宽表明镀层的耐磨性能越差。由此可以看出,在常温以及较高的温度下,自动化 n-SiC 复合电刷镀层的耐磨性能都要优于同等条件下制备的手动 n-SiC 复合电刷镀层,在常

温条件下尤其明显, 其耐磨性能提高了近 34%。虽然在 200℃ 的实验条件下, 两种镀层的耐磨性能均有所下降, 但是自动化复合电刷镀层的耐磨性能依然要比手动镀层提高 4. 7% 左右。

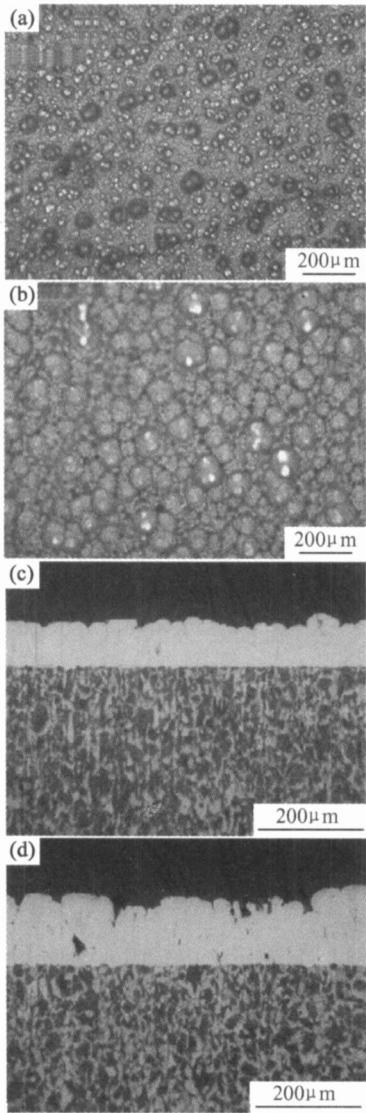


图 2 n-SiC/Ni 复合电刷镀层的表面形貌与截面组织
(a) 自动刷镀镀层表面形貌; (b) 手动刷镀镀层表面形貌;
(c) 自动刷镀镀层截面组织; (d) 手动刷镀镀层截面组织

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

2.3 n-SiC 复合电刷镀层的显微硬度

两种复合镀层均在镀层截面上由表面向基体方向依次选取 3 个测试点, 实验结果如表 3 所示。自动化复合电刷镀层的显微硬度平均值为 531, 明显高于手动复合电刷镀层的 489, 自动化复合镀层的显微硬度

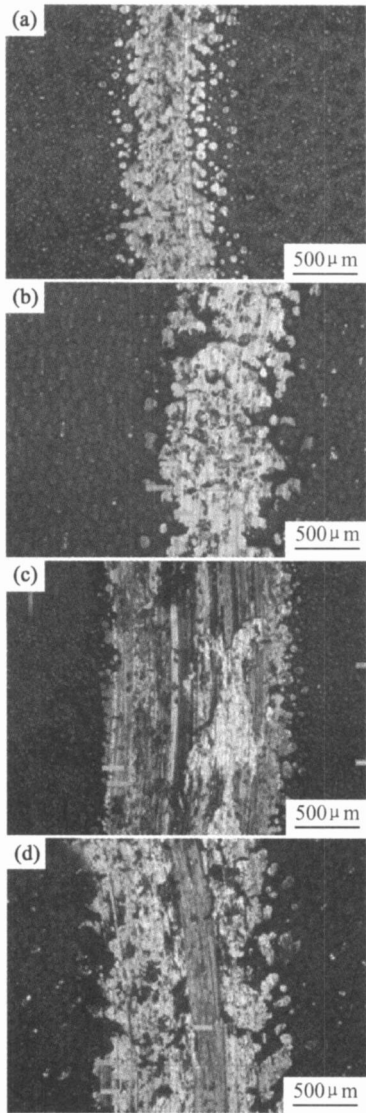


图 3 n-SiC/Ni 复合电刷镀层的磨痕形貌
(a) 室温实验的自动复合镀层; (b) 室温实验的手动复合镀层;
(c) 200℃ 实验的自动复合镀层; (d) 200℃ 实验手动复合镀层

Fig. 3 Worn-surface morphologies of n-SiC/ Ni composite coatings (a auto brush electroplating composite coating worn at 20 °C; (b) manual brush electroplating composite coating worn at 20 °C; (c) auto brush electroplating composite coating worn at 200 °C; (d) manual brush electroplating composite coating worn at 200 °C

表 2 不同温度下 n-SiC/Ni 复合电刷镀层磨痕宽度(mm)
Table 2 Breadth of worn surface of n-SiC/ Ni composite coatings at different temperatures(mm)

Temperature / °C	20	200
Manual composite coating	978	1497
Auto composite coating	735	1427

比手动复合镀层提高约 8. 6%。这是因为自动化复合镀层中的纳米颗粒含量较多, 而纳米颗粒本身的高强度和硬度在复合镀层中起到了弥散强化作用^[5- 7]。

2.4 结果讨论

通过能谱对两种镀层进行定量分析可以得知: 在相同的实验条件下, 自动化纳米复合电刷镀层中的纳米SiC颗粒含量要明显高于手动纳米复合电刷镀层。

表 3 Ti-SiC/Ni 复合电刷镀层的显微硬度
Table 3 Micro-hardness of Ti-SiC/Ni composite coatings

Coating	Load/g	Time/s	HV _{0.1}		
			1	2	3
Manual composite coating	100	10	514	498	454
Auto composite coating	100	10	530	548	514

这是因为在手动刷镀过程中, 刷镀行为要受一些人为因素的影响, 如: 镀笔与工件的运动速度不一致, 相对压力不均匀等等, 因此大量纳米颗粒在镀笔的运动过程中随着镀液被冲刷带走; 而自动化电刷镀过程中这一行为得到了相当程度的抑制, 所以纳米颗粒在工件表面的沉积比率和沉积效率均有所提高, 使得相同实验条件下, 自动化复合电刷镀层中纳米颗粒的含量增加。

因为自动化电刷镀过程中镀笔对工件的压力、相对运动速度始终保持恒定, 纳米颗粒在工件表面沉积比率提高而团聚概率降低, 镀层在沉积过程中晶核数量增多形核率增大, 镀层中纳米颗粒含量的增加也有效阻碍了晶粒的长大, 所以相对于手动镀层, 自动化电刷镀层的表面形貌更加光滑更加细化, 细小球状颗粒的分布更加均匀; 同时, 纳米颗粒在镀层中含量的提高还有效减少了微孔洞和微裂纹的产生几率, 并抑制了树枝状晶的产生, 使得镀层组织更加致密; 而且因为纳米颗粒本身的强度和硬度较高, 具有弥散强化作用, 所以使得自动化复合电刷镀层硬度提高, 耐磨性能也更加优良^[4-8]。

图 4 为手动和自动两种镀层在 200℃实验条件下的摩擦系数曲线。可以看出, 在相同的实验条件下, 自动化镀层的摩擦系数要小于手动镀层。

3 结论

(1 自动化刷镀过程为机械操作, 镀笔的相对运动速度以及工件表面的压力更加均匀, 因此由力学原理导致了纳米颗粒在镀层表面的沉积速度和沉积密度始终恒定, 所以镀层表面形貌更加光滑平整, 颗粒分布更加均匀, 以往在手动复合刷镀层中少量存在的微孔洞以及微裂纹也得到进一步的抑制。

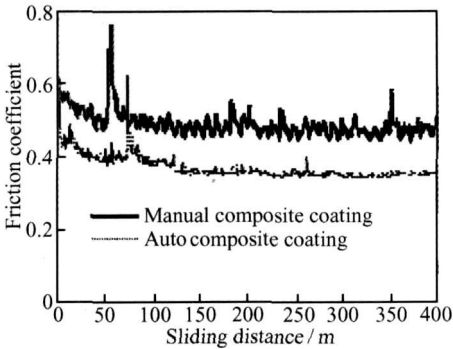


图 4 手动和自动镀层的摩擦系数曲线
Fig. 4 Friction coefficient of manual and auto coatings

(2 因为自动化电刷镀过程中镀笔运动速度始终恒定, 使得纳米颗粒被镀液冲刷带走的概率大大降低, 有效地增加了纳米颗粒在工件表面的沉积比率, 自动化镀层中纳米颗粒含量的增加使得其耐磨性能较手动镀层进一步提高。

(3 通过自动化电刷镀技术, 可以制备出各方面性能比手动电刷镀更加优良的纳米复合电刷镀层。

参考文献

[1] 徐滨士, 董世运, 马世宁. $\text{Ti-Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 复合刷镀层的组织和摩擦磨损性能[J]. 材料保护, 2002, 35(6): 6-8.

[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] 董世运, 徐滨士, 马世宁. 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.

[4] NABEEN K SHRESTHA, MASABUMI MASUKO, TETSUO SAJI. Composite plating of Ti-SiC using azo-cationic surfactants and wear resistance of coatings[J]. Wear, 2003, (254): 555-564.

[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.

[8] 程森, 王昆林, 赵高敏. 镍基纳米 SiC 复合镀层的摩擦学性能[J]. 清华大学学报, 2002, 42(4): 516-519.

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(50235030)
收稿日期: 2006-10-11; 修订日期: 2007-10-21
作者简介: 张斌(1978—, 男, 博士生, 从事装备再制造技术等方面的研究. 联系地址: 北京市长辛店杜家坎 21 号装甲兵工程学院装备再制造技术国防科技重点实验室(100072)。E-mail: zhangbin20m@vip.sohu.com