

自动化纳米电刷镀技术及其在发动机连杆再制造中的应用*

吴斌, 徐滨士, 张斌, 胡振峰, 杨华

(装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京, 100072)

摘要: 电刷镀技术是再制造的先进技术之一, 已在实践中获得了应用, 但其仍以手工操作为主要形式, 存在工艺过程受操作人员的经验影响大, 镀层质量不稳定、效率低和劳动强度大等缺点, 阻碍了其进一步发展。鉴于此, 我们开发了自动化纳米电刷镀技术并研制了相关设备。试验表明, 应用自动化电刷镀设备制备的 Ni/n-Al₂O₃ 复合镀层, 与手工刷镀制备的相应镀层比较, 组织更均匀、致密, 晶粒细小, 硬度更高, 耐磨性更好。该技术已成功应用于发动机连杆再制造, 镀层质量稳定可靠、生产效率大幅度提高。

关键词: 电刷镀; 自动化; 再制造; 发动机; 连杆

中图分类号: TG174.441

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05⁺-0260-03

Automatic nano-brush plating technology and its application in remanufacturing connecting rods of engine

WU Bin, XU Bin-shi, ZHANG Bin, HU Zhen-feng, YANG Hua

(National Key Lab for Remanufacturing, Beijing, 100072)

Abstract: Brush plating is one of the advanced technologies for remanufacturing and has found wide application in engineering. There exist many problems such as unstable deposit quality, low labor productivity and high labor intensity with the traditional manual brush plating technology due to the introduction of operator's experience. Therefore, an automatic nano-brush plating system was developed and used to prepare Ni/n-Al₂O₃ composite coatings. The results show that the automatically plated coatings are relatively dense and uniform and have smaller crystalline size, higher microhardness and better anti-wear property when compared with manually plated coatings. This technology has been successfully employed to remanufacture connecting rods of engine. Stable deposit quality is obtained and labor productivity is greatly improved.

Key words: brush plating; automation; remanufacturing; engine; connecting rod

0 引言

汽车发动机再制造是再制造工程中最典型的应用实例。目前, 德国大众公司的再制造发动机与用新毛坯制造的发动机的销售比为 9:1。在美国所有再制造行业中, 汽车再制造业是最大的。2000 年, 我国达到报废标准的汽车有 210 万辆, 预测 2010 年我国年均汽车报废量在 200 万辆以上, 这些报废汽车中的发动机绝大多数都有再制造的价值。由于发动机再制造比发动机大修在性能价格比方面占据明显的优势, 因而以发动机再制造取代发动机大修是今后的必然趋势。发动机再制造过程中如何将因

磨损、腐蚀、划伤而失效的零部件重新制造成具有新品性能的零件, 是提高旧件利用率, 降低生产成本的关键。而表面工程技术恰恰可以达到这种目的, 其中, 电刷镀修复连杆大头孔等技术已得到实际应用, 取得了可观的经济效益; 同时, 也在节能、降耗、减少环境污染方面取得了良好的社会效益^[1]。然而, 电刷镀(包括后续研发的纳米颗粒电刷镀)修复大头孔仍采用手工方式, 其效率低下、劳动强度大且镀层质量不稳定, 远不能满足发动机再制造工程的需求。鉴于此, 本文开发了自动化纳米电刷镀技术并针对连杆研制了相关再制造设备, 为发动机再制造的进一步发展提供了技术支撑。

1 自动化纳米电刷镀技术

电刷镀技术采用一专用的直流电源设备, 电源的正极接镀笔作为刷镀时的阳极(镀笔通常采用高纯细石墨块作阳极材料, 石墨块外面包裹上棉花和

收稿日期: 2006-08-01

修回日期: 2006-09-01

基金项目: *国家自然科学基金重点项目(50235030); 2000 年和 2002 年中国工程院咨询项目(12/2000, 12/2002); 国家发改委论证项目(2004 环资 4-01-01)

作者简介: 吴斌(1971-), 男(汉), 合肥市人, 博士。

耐磨的涤棉套), 电源的负极接工件, 作为刷镀时的阴极。刷镀时使浸满镀液的镀笔以一定的相对运动速度在工件表面上移动, 并保持适当的压力。这样在镀笔与工件接触的那些部位, 镀液中的金属离子在电场力的作用下扩散到工件表面, 并在工件表面获得电子被还原成金属原子, 这些金属原子沉积结晶就形成了镀层。随着刷镀时间的增长镀层增厚^[2]。

采用手工操作进行电刷镀操作, 充分体现出工艺的灵活性, 解决了许多技术难关。随着技术的进步和应用范围的不断扩大, 人们越来越感觉到, 手工操作劳动强度大, 镀层质量受人为因素的影响而不够稳定, 劳动生产率低, 从而在一定程度上影响到电刷镀技术的进一步推广应用。因此, 发展自动化电刷镀技术成为当务之急。同时, 近年来计算机技术、测试技术、控制技术、纳米科学与技术等的发展为电刷镀技术向自动化方向的发展提供了有利条件。自动化电刷镀设备是实现刷镀自动化的前提, 也是保证电刷镀质量、提高劳动生产率、改善劳动条件的硬件支撑系统。基于电刷镀工作原理可知, 要实现刷镀自动化需满足以下条件:

(1) 工件与镀笔相对运动自动化

这是电刷镀技术由手工操作向自动化作业转变的首要特征, 即工件与镀笔相对运动由刷镀设备自行实现且其快慢可控。

(2) 镀液供给自动化

镀液供给自动化是电刷镀过程持续进行的重要基本条件, 为提高劳动生产率、改善劳动条件和保证电刷镀质量提供了保障, 尤其是在中、大型工件的电刷镀作业中。

(3) 工艺过程控制自动化

电刷镀工艺一般包括电净、活化、打底、镀覆等, 在整个刷镀过程中不同工序间要不断改变溶液种类, 包括电净液、活化液、洁净水、工作层镀液等(同时配备相应的镀笔), 工序间断进行, 不仅增加了大量辅助工时, 而且为刷镀全过程自动化的实现带来较大困难。因此, 在保证每道工序作业过程自动化的基础上, 尽可能实现工序转换自动化是刷镀全过程自动化的关键。

(4) 镀层质量监控自动化

刷镀自动化在提高劳动生产率、改善劳动条件的同时必须保证获得高质量的镀层。刷镀自动化可以很大程度上避免刷镀过程中某些人为因素对镀层质量的影响, 从而实现对影响镀层质量因素的有效控制。镀层质量监控自动化提供了镀层质量的相关信息, 能实时显示相关工艺参数, 从而为刷镀自

动化作业过程是否正常提供信息。

以上是电刷镀自动化的四个基本条件和组成, 其中(1)和(4)可借鉴数控加工中心工件与刀具相对运动的实现以及加工质量在线检测系统来设计, 技术已较成熟; (2)和(3)是电刷镀技术实现自动化所特有的, 必须专门设计。

2 镀层制备及性能评价

2.1 镀层表面形貌 SEM 结果比较

自动化和手工刷镀制备的 Ni/n-Al₂O₃ 复合镀层表面形貌如图 1 所示(试验条件: 电压 12 V, 镀液为添加 20 g/l 粒径 50 nm Al₂O₃ 颗粒的快镍刷镀液)。由图可知, 自动化电刷镀制备的镀层(图 1a)较手工刷镀制备的镀层(图 1b-d)组织更为致密、细小和均匀, 其原因在于前者制备过程中, 镀液供应充分, 镀笔(尤其是石墨阳极)、工件和镀液温度控制在合理范围内, 镀笔和待镀面之间的相对运动速度和接触压力恒定, 工艺过程稳定可控。而在手工刷镀中, 镀液靠人工不断蘸取, 一不能保证充分供液, 二不能保证镀笔和待镀面之间接触压力不变。尤其是在长时间刷镀时, 由于手工蘸取镀液, 使得镀笔、工件不能得到充分冷却, 从而导致镀层质量恶化。此外, 长时间刷镀也使得刷镀者极易疲劳, 无法集中精力进行操作, 故镀层质量不易保证。图 1b、图 1c 和图 1d 分别为三名刷镀者在同样刷镀条件下制备的 Ni/n-Al₂O₃ 复合镀层, 由此可见, 手工刷镀制备镀层因人而异, 很大程度上受各人经验支配, 即手工刷镀工艺过程是不稳定、不可控的。由图可见, 手工刷镀镀层组织疏松, 有很多针孔等缺陷, 孔隙率大, 其原因主要是一方面供液不充分, 二是相对运动速度太慢, 不能及时抑制电沉积过程中的析氢。

2.2 镀层断面 Nanoindentation 测试结果比较

在 Nanotest 600 上进行了自动化和手工刷镀制备的 Ni/n-Al₂O₃ 复合镀层断面纳米压痕试验, 测试结果如图 2 所示(测试条件: 载荷 15 mN)。由图可见, 前者较后者硬度高, 且沿整个镀层生长方向均匀。被测的两种镀层断面上, 四个两两相距 10 μm 的测点的平均硬度分别为 6.963 GPa 和 5.845 GPa, 相差 19%。这是因为自动化较手工制备的镀层晶粒细小, 根据 Hall-Petch 公式可知, 硬度提高是必然结果。同时, 还可看出, 在镀层生长过程中, 自动化刷镀因工艺过程稳定, 工艺参数恒定, 因此, 镀层整体组织、性能均匀。手工刷镀制备的镀层其硬

数值则较为分散,这再次反映了由于人为因素的存在导致镀层质量受到显著影响。

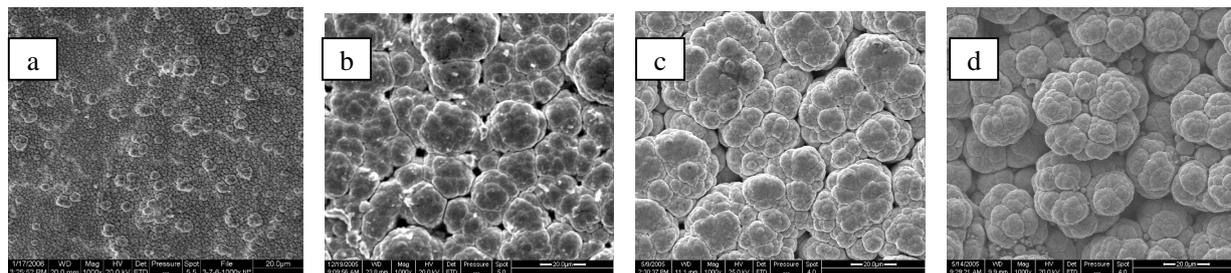


图1 自动化与手工刷镀 Ni/n-Al₂O₃ 复合镀层表面形貌比较

Fig.1 SEM surface morphology comparison between automatically and manually brush plated Ni/n-Al₂O₃ composite coatings

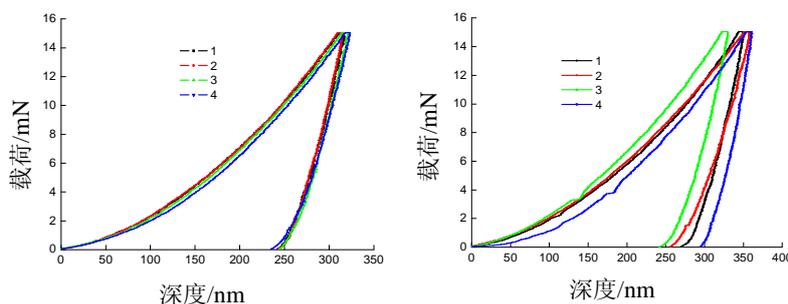


图2 自动化与手工刷镀 Ni/n-Al₂O₃ 复合镀层断面纳米压痕测试结果比较

Fig.2 Nanoindentation results comparison between automatically and manually brush plated Ni/n-Al₂O₃ composite coatings

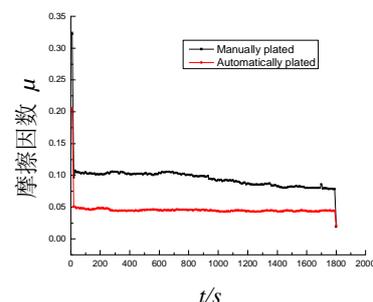


图3 自动化与手工刷镀 Ni/n-Al₂O₃ 复合镀层摩擦系数变化历程比较

Fig.3 Coefficient of friction comparison between automatically and manually brush plated Ni/n-Al₂O₃ composite coatings

2.3 镀层摩擦学性能比较

在 MM200 环块试验机上对自动化和手工刷镀制备的 Ni/n-Al₂O₃ 复合镀层摩擦学性能进行了对比测试(试验条件:载荷 50N,时间 30 min,润滑油为 650SN)。图 3 为记录的摩擦因数随时间的变化曲线。由图可知,前者较后者具有更低的摩擦系数,30 min 后两者的质量损失分别为 2.4 mg 和 15.1 mg,后者比前者高出将近 6 倍。其原因在于,自动化电刷镀制备的镀层硬度高,且整体均匀、致密,孔隙率低,表面平整,粗糙度低,支撑面积大,因此具有更好的抗磨损性能。

3 发动机连杆再制造

在自动化纳米电刷镀技术研发的基础上,针对发动机连杆再制造的任务需求,我们研制了相关设备,可以在 40 min 内一次性刷镀 6 件连杆,不仅能保证镀层质量,而且极大地提高了生产效率,显著降低了人员的劳动强度,为发动机再制造实现产业化、规模化打下了坚实基础。图 4 所示为连杆模拟刷镀试验装置。

4 结论

针对手工电刷镀存在镀层质量受人为因素影

响,生产效率低,劳动强度大等问题,研发了自动化纳米电刷镀技术,其制备的镀层较手工刷镀层而言,组织更为均匀、致密,孔隙率低,硬度高且具有更好的耐磨性。该技术目前已成功应用于发动机连杆再制造,获得的镀层质量稳定,劳动强度显著降低,生产效率大幅度提高。



图4 连杆模拟刷镀试验装置

Fig.4 Model apparatus for brush plating connecting rod

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. 275,282
- [2] 徐滨士,朱绍华,等.表面工程的理论与技术 [M].北京:国防工业出版社. 323-324.

作者地址:北京长辛店杜家坎 21 号 100072

Tel: (010)66718541 E-mail: mewubin@tom.com