

自动化电刷镀技术在发动机缸体再制造中的应用 *

胡振峰¹, 汪笑鹤¹, 吕 鏢^{1,2}, 徐滨士¹

(1. 装甲兵工程学院 再制造技术重点实验室, 北京 100072; 2. 东北大学 材料与冶金学院, 沈阳 110004)

摘 要: 针对发动机缸体等深孔类零件批量化再制造的难题, 采用新型内孔电刷镀技术, 开发了自动化电刷镀设备。利用扫描电镜(SEM)、透射电镜(TEM)和显微硬度计对镍镀层的表面形貌、结合强度和硬度进行了表征。结果表明, 与手工电刷镀制备的镍镀层相比, 应用自动化内孔电刷镀技术制备的镍镀层组织更均匀、致密, 镀层结合力好, 硬度更高。目前, 该技术已成功应用于发动机缸体再制造, 所得镀层质量稳定可靠、生产效率大幅度提高。

关键词: 电刷镀; 自动化; 再制造; 缸体

中图分类号: TH17

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2012)04-0027-04

Automatic Brush Electroplating Technology Applied to Remanufacturing Cylinder Body of Engine

HU Zhen-feng¹, WANG Xiao-he¹, LV Biao^{1,2}, XU Bin-shi¹

(1. Science and Technology on Remanufacturing Laboratory, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072; 2. School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract: Automatic brush electroplating equipment was developed by using new inner bore brush electroplating technology to solve the problem of batch remanufacturing for bore parts, such as cylinder body of engine. Surface morphology, binding strength and microhardness of Ni plated coatings were characterized by scanning electron microscope(SEM), transmission electron microscope(TEM) and microhardness tester. The results show that the automatically plated nickel coatings, compared with manually coatings plated, have more dense and compact microstructure, better binding strength and higher hardness. Currently, the technology has been successfully applied to remanufacturing of cylinder body of engines. Stable deposited quality of the coating is obtained and the labor productivity is significantly improved.

Key words: brush electroplating; automation; remanufacturing; cylinder body

0 引 言

再制造工程是废旧机电产品高技术维修的产业化, 因此, 它需要多种表面工程技术进行支撑。电刷镀技术是其关键技术之一, 已广泛地应用于再制造工程中^[1-2]。

内孔类零件(如发动机的缸体、连杆、缸套等)是发动机上最重要的零件类型之一, 它与外圆类零件(如轴、轴承、密封环等)共同组成运动

副, 实现零件的相对运动和动力传递。内孔类零件的失效以磨损和变形导致不能满足尺寸要求为主。因此, 对该类零件的修复主要是恢复其配合尺寸和提升其表面性能。

目前, 常用的内孔类零件手工电刷镀修复效率低下、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批量化生产的需求^[3-5]。

为此, 文中采用新型内孔电刷镀技术^[6], 针

收稿日期: 2012-06-26; **修回日期:** 2012-07-03; **基金项目:** * 国家自然科学基金(51005244); 武器装备预研基金(9140C850201110C8501)

作者简介: 胡振峰(1976-), 男(满), 河北隆化人, 讲师, 博士; **研究方向:** 金属电沉积理论及应用和装备再制造工程

网络出版日期: 2012-07-06 08:38; **网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20120706.0838.002.html>

引文格式: 胡振峰, 汪笑鹤, 吕鏢, 等. 自动化电刷镀技术在发动机缸体再制造中的应用[J]. 中国表面工程, 2012, 25(4): 27-30.

对某型号发动机缸体研制了自动化电刷镀设备,为发动机再制造的进一步发展提供了技术支撑。

1 试验方法

阴极采用内孔型金属圆筒,基体材料为球墨铸铁,内孔尺寸为 $\Phi 100\text{ mm}\times 210\text{ mm}$ 。镀液采用

常规的 Watts 镀液改进而成,其组成为:硫酸镍($\text{NiSO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 260 g/L ,氯化镍($\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) $40\sim 80\text{ g/L}$,硼酸(H_3BO_4) 40 g/L ,添加剂适量。电刷镀工艺流程为:打磨→电净→2 号活化→3 号活化→电沉积镍镀层,每道工序之间用自来水充分冲洗干净。具体刷镀工艺规范如表 1 所示。

表 1 自动化电刷镀的工艺规范
Table 1 Procedures and processing parameters of automatic brush electroplating

Process	Plating solution	Polarity	Current density/ ($\text{A}\cdot\text{dm}^{-2}$)	Treatment time/ min
Electric cleaning	Electric cleaning solution	+	8-15	1-2
Strong activation	Activation solution for 2	-	10-15	0.5-1.5
Weak activation	Activation solution for 3	-	5-10	1-1.5
Coating preparation	According to demand	+	Depend on plating solution	Depend on requirement of plating size

以手工快速镍电刷镀层和传统 Watts 镍镀层作为参照,与自动化电刷镍镀层进行对比研究。

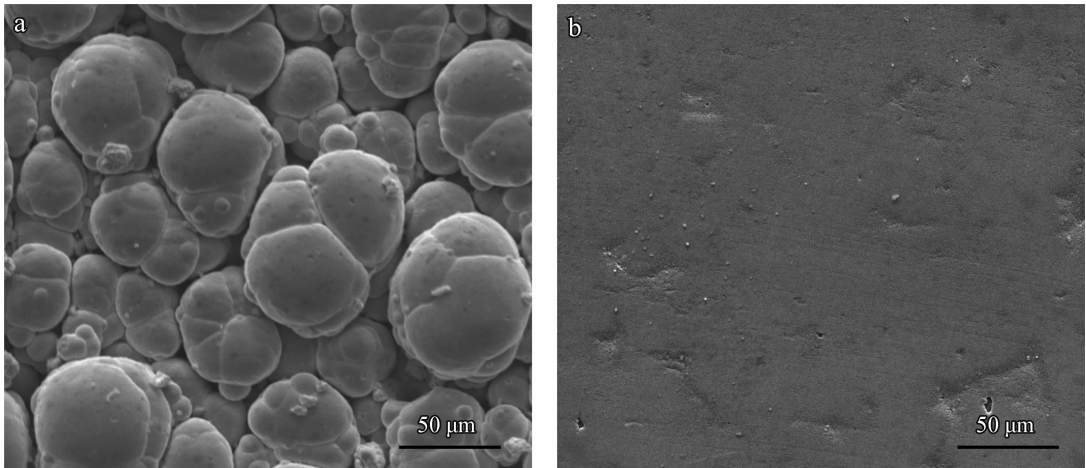
镀层的表面和截面形貌测试采用 Philips Quanta200 型扫描电子显微镜(SEM)观察;微观结构采用 JEM-100CXII 型透射电子显微镜(TEM)分析;镀层的显微硬度采用 HVS-1000 数显显微硬度计测定,载荷 100 g ,加载时间 15 s 。每个试样测量 5 个数据,取其平均值作为最终结果。

2 镀层性能评价

2.1 镀层表面形貌

传统电刷镀和自动化内孔电刷镀制备的镍

镀层微观表面形貌如图 1 所示。由图可知,自动化电刷镀制备的镀层(图 1(a))较手工刷镀制备的镀层(图 1(b))组织更为致密、细小和均匀,而手工刷镀镀层组织疏松。其原因在于相对于传统电刷镀,自动化内孔电刷镀制备过程中,镀液供应充分,镀笔、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。在手工刷镀中,镀液靠人工不断蘸取,既不能保证充分供液,又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。而自动化电刷镀则不存在以上问题。



(a) The manual brush electroplating coating (b) The automatic brush electroplating coating

图 1 电刷镀层表面形貌

Fig. 1 Surface morphologies of the brush electroplating coatings

2.2 镀层截面形貌

图 2 为自动化电刷镀镍层与铸铁基体结合部位的截面形貌照片。由图可见，底部镍镀层沿铸铁腐蚀出来的沟槽和凹坑向基体内部生长。铸铁基体由于组织疏松和缺陷较多，刷镀活化后，基体表面更易形成众多的凹坑和微观的不平，电刷镀镍镀层沉积在凹坑和不平整的表面上，能有效的提高镀层的结合强度。这是一种机械结合力，这种机械结合力促使镀层和基体金属表面具有牢固的连接。

图 3 为铸铁基体和自动化电刷镀镍层截面放大 100 000 倍的 TEM 图。从图中很难分辨出镀层和铸铁基体表面间的距离，可以认为镀层和基体金属表面的距离接近原子尺寸，金属键力在起作用。因而，自动化电刷镀镍层具有很高的结合强度。

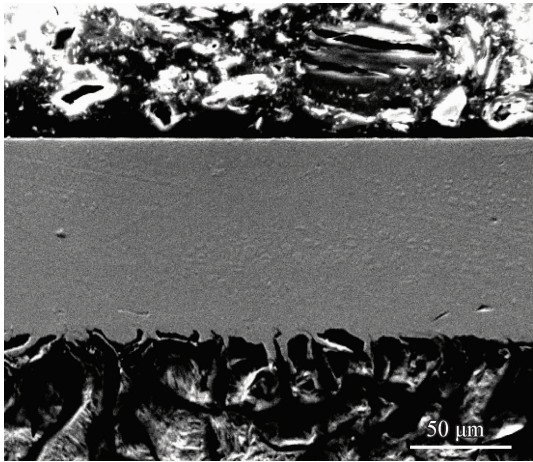


图 2 自动化电刷镀层截面形貌
Fig. 2 Section morphology of the automatic brush electroplating coating



图 3 自动化电刷镀层截面透射电镜图
Fig. 3 TEM microstructure of the automatic brush electroplating coating

图 4 为自动化电刷镀层偏磨加工后镀层和基体的过渡区放大图片。从图中可以看出，镀层结合紧密，无剥落现象，表明镀层在承受苛刻的加工手段下，镀层还能表现很高的结合强度。

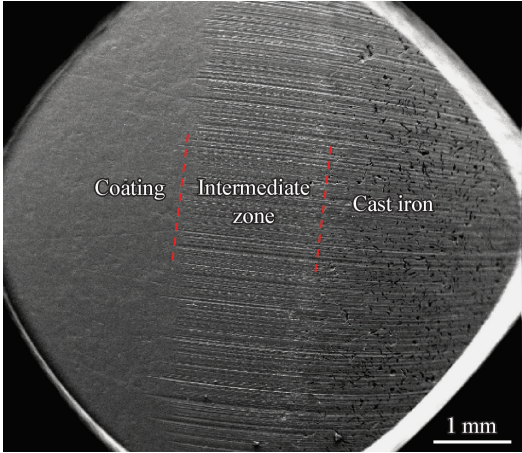


图 4 自动化电刷镀镍镀层和基体过度区表面形貌
Fig. 4 Intermediate zone of automatic brush electroplating coating and substrate metal

2.3 镀层硬度

图 5 为普通镀镍、传统电刷镀镍和自动化电刷镀镍镀层的硬度图。从图中可以看出，传统瓦特电镀镍层硬度为 215 HV；手工电刷镀层硬度为 410 HV；而自动化电刷镀镍层的硬度达到 550 HV，是普通电镀镍层的约 2.56 倍，手工电刷镀镍层的约 1.34 倍。相对于传统电刷镀层，采用自动化电刷镀技术得到的镍镀层，组织发生了显著变化，更为致密、细小和均匀，进而导致了镍镀层硬度的提高，这些变化会改善镀层的机械性能。而相对于普通电镀镍，电刷镀层硬度提高的主要原因在于电沉积过程中镀笔的磨擦和扰动所产生的细晶强化效应。

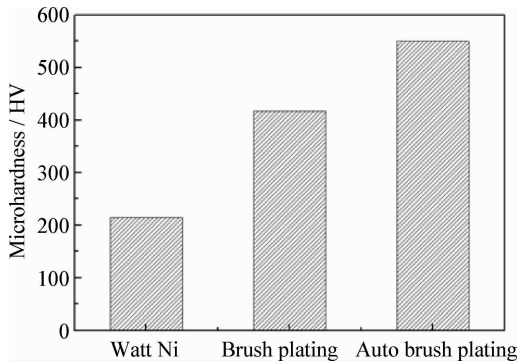


图 5 镀层的显微硬度
Fig. 5 Microhardness of electroplating coatings

3 发动机缸体再制造自动化电刷镀专机

在内孔电刷镀技术的基础上,针对发动机缸体再制造产业化的需求,研制的发动机缸体专用自动化刷镀设备如图 6 所示^[7]。该设备解决了连续供液和供液均匀性、连续刷镀、多次更换镀笔、刷镀均匀性、镀液浪费等难题。利用该设备可以在 2~3 h 内刷镀 1 件缸体,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,可以实现发动机缸体再制造的产业化。



图 6 缸体自动化电刷镀专机

Fig. 6 Special equipment for automatic brush electroplating cylinder body

4 结 论

(1) 针对发动机缸体等深孔类零件批量化再制造的难题,采用新型内孔电刷镀技术,开发了自动化电刷镀设备。

(2) 与手工刷镀层相比,采用自动化电刷镀技术制备的镀层组织更为均匀、致密,结合强度高、硬度更高。

(3) 自动化电刷镀技术目前已成功应用于发动机缸体再制造,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。

参考文献

- [1] 徐滨士. 装备再制造工程的理论与技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] 胡振峰, 董世运, 汪笑鹤, 等. 面向装备再制造的纳米复合电刷镀技术的新发展 [J]. 中国表面工程, 2010, 23 (1): 87.
- [3] 张远明, 惠文华. 数控电刷镀镜面精加工技术 [J]. 材料保护, 1996, 29(9): 23-25.
- [4] 张斌, 徐滨士, 吴斌, 等. 自动化纳米电刷镀复合镀层的组织和性能 [J]. 金属热处理, 2007, 32(1): 43-45.
- [5] 吴斌, 徐滨士, 张斌, 等. 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 [J]. 中国表面工程, 2006, 19 (5): 260-262.
- [6] 徐滨士, 胡振峰, 董世运. 内孔类零部件电刷镀的装置及方法 [P]. 中国: ZL200910077394. X. 2010-11-10.
- [7] 徐滨士, 胡振峰, 汪笑鹤, 等. 发动机缸体全自动立式电刷镀设备 [P]. 中国: ZL201010103228.5. 2011-04-27.

作者地址: 北京市丰台区长辛店杜家坎 21 号 100072
装甲兵工程学院再制造技术重点实验室
Tel: (010) 6671 7144
E-mail: hu_zhenfeng@sina.com