

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2017.08.008

# 汽车活塞销镀 Ni-Co 合金镀层表面改性及性能研究

王 斌

(无锡商业职业技术学院, 江苏 无锡 214153)

**摘要:** 利用电镀技术在汽车活塞销表面制备 Ni-Co 合金镀层实现表面改性。概述了活塞销表面改性的工艺过程, 观察了表面改性后活塞销的形貌, 检测了 Ni-Co 合金镀层与活塞销基体的结合强度以及表面改性后活塞销的硬度、抗拉强度及耐摩擦磨损性能。结果表明, Ni-Co 合金镀层与活塞销基体结合牢固, 表面改性后活塞销的表面平整均匀, 硬度和抗拉强度均提高, 表现出较好的耐摩擦磨损性能。Ni-Co 合金镀层有效改善了活塞销的表面状况, 使活塞销的硬度提高约 17%, 抗拉强度提高约 7.2%, 磨损量和磨损速率分别下降 17.5% 和 17.9%。

**关键词:** Ni-Co 合金; 表面改性; 活塞销; 汽车; 硬度; 抗拉强度; 摩擦磨损

中图分类号: TQ153.2 文献标识码: A

## Surface Modification and Surface Performances of Ni-Co Alloy Coating of Automobile Piston Pin

WANG Bin

(Wuxi Vocational Institute of Commerce, Wuxi 214153, China)

**Abstract:** For the sake of realizing surface modification, Ni-Co alloy coating was prepared on automobile piston pin surface by electroplating. Process of the surface modification was elaborated, surface morphology of the piston pin after surface modification was observed by utilizing instruments and equipments, bonding strength between the Ni-Co alloy coating and piston pin substrate, hardness, tensile strength as well as friction wearing performance of the piston pin after surface modification were also tested. Results showed that the Ni-Co alloy coating combined firmly with the piston pin substrate, the piston pin surface after modification was smooth and uniform, presented higher hardness, higher tensile strength and better friction wearing performance. The Ni-Co alloy coating had effectively improved the surface status of the piston pin, which made hardness increased by 17%, tensile strength increased by 7.2%, wearing mass loss and wearing rate decreased by 17.5% and 17.9% respectively.

**Keyword:** Ni-Co alloy; surface modification; piston pin; automobile; hardness; tensile strength; friction wearing

### 引 言

活塞销是汽车动力系统中的关键部件, 主要起

连接和传力的作用, 连接活塞和连杆, 并将活塞所受的力传递至连杆或反向传递。活塞销在高温环境中工作, 承受较大的周期性冲击载荷。由于工作

收稿日期: 2017-02-27

修回日期: 2017-03-18

环境特殊,承受载荷大,再加上润滑条件较差,活塞销相对容易受损,其损伤形式表现为表面磨损、划伤和疲劳裂纹<sup>[1-2]</sup>。

对于活塞销,应具备良好的物理机械性能(如强度、刚度、硬度、耐摩擦磨损性能和疲劳性能等)。可靠且性能良好是活塞销得以长期使用的前提。

研究表明,通过表面改性能够有效提高活塞销的表面性能<sup>[3-4]</sup>。因此,本文利用电镀技术,在汽车活塞销(以下简称活塞销)表面制备 Ni-Co 合金镀层实现表面改性。主要研究活塞销表面改性工艺过程,并测试活塞销表面改性后的表面性能。

## 1 表面改性

活塞销表面改性依次经过前处理、表面改性和后处理。

### 1.1 前处理

前处理主要进行检查、修整和活化处理,目的是确保活塞销表面无明显损伤,表面状况符合实施表面改性工艺的要求。前处理对于优质表面改性层的获得起到关键作用。

首先,利用工具或仪器检查活塞销表面是否存在裂纹、深道划痕及块状剥落等明显损伤。其次,除净活塞销表面的油脂等污垢物以及疲劳层、氧化膜等金属化合物,使表面改性层能够与活塞销(基体)牢固结合。对于污垢物,由于其处于吸附状态,采用化学方法或电化学方法可以清除干净。对于金属化合物,由于其性质为机械地附着在活塞销表面的疏松金属材料,则采用打磨、抛光的方法清除干净。最后,对活塞销表面进行活化处理。活化处理的实质是对活塞销表面进行电解刻蚀和化学腐蚀,目的是使活塞销表面处于活化态,形成的表面改性层能够与活塞销牢固结合。

### 1.2 表面改性

表面改性工艺过程与常规的电镀工艺过程相同。

首先,以去离子水作为溶剂配制镀液。主要成分为:150 g/L 硫酸镍,40 g/L 氯化镍,8 g/L 硫酸钴,

40 g/L 硼酸,20 g/L 乙酸铵,0.1 g/L 添加剂。其中,硫酸镍、氯化镍、硫酸钴作为主盐,硼酸、乙酸铵均作为缓冲剂。镀液温度  $\theta$  控制在 40 °C 左右,通压缩空气持续搅拌。

其次,使用直流电源,正极接电解镍板,负极接活塞销。电解镍板经过除油污处理,并用阳极袋包裹。直流电源工作时,通过电化学沉积,在活塞销表面镀 Ni-Co 合金镀层实现表面改性。电流密度  $J_k$  为 3 A/dm<sup>2</sup>,电沉积时间  $t$  为 60 min, Ni-Co 合金镀层厚度  $\delta$  约为 35  $\mu$ m。图 1 为表面改性后的活塞销。

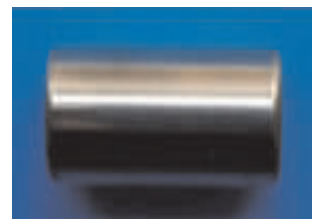


图 1 表面改性后的活塞销

### 1.3 后处理

活塞环表面改性后,需经过适当后处理。目的是使表面改性层的性能满足要求。对于表面改性后的活塞销,首先冲洗其表面,洗掉可能残留在表面改性层的残留液。接着,用棉纱擦干表面附着的水膜,避免水膜中的腐蚀介质腐蚀表面改性层导致其形貌和质量受损。随后,涂油保护表面改性层。

## 2 表面性能检测

依据 GB/T 13298-2015《金属显微组织检验方法》利用扫描电镜观察表面改性后活塞销的形貌,利用附带的能谱仪分析表面改性后活塞销的表面成分,得到各元素的质量分数,利用三维形貌仪测量表面改性后活塞销的表面粗糙度。

依据 GB/T 5270-2005《金属基体上的金属覆盖层电沉积和化学沉积层附着强度试验方法评述》,通过剥离试验定性检测 Ni-Co 合金镀层与活塞销基体的结合强度。

依据 GB/T 4340.1-2009《金属材料维氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》,在显微硬度计上检测表面

改性后活塞销的硬度。检测过程自动加载,载荷为0.49 N,保载时间 $t$ 为10 s。随机选取7个点进行检测,舍弃最大值和最小值,剩余取平均值。

依据 GB/T 10120-2013《金属材料 拉伸应力松弛试验方法》,在万能试验机上检测表面改性后活塞销的抗拉强度,拉伸速度设为1 mm/min。

依据 GB/T 12444.1-90《金属磨损试验方法 MM 型磨损试验》,在摩擦磨损试验机上检测表面改性后活塞销的耐磨损性能。利用分析天平称取磨损量,并依据公式求得磨损速率。利用扫描电镜观察表面改性后活塞销的磨损形貌。

### 3 结果与分析

#### 3.1 形貌

表面改性前后活塞销的形貌如图2所示。

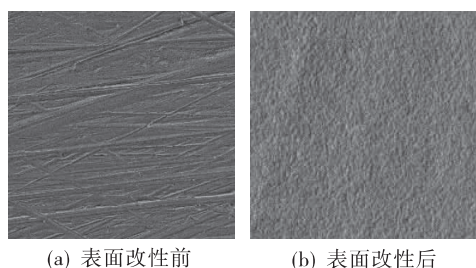


图2 活塞销的形貌

对比图2(a)和图2(b)可见,镀Ni-Co合金镀层实现表面改性后,活塞销的表面状况改观明显,表面平整性和均匀性均明显提高。

从图2(a)可以看出,表面改性前活塞销表面的平整性较差,存在条纹状沟痕(机加工形成),沟痕较深且轮廓清晰;而从图2(b)可以看出,表面改性后活塞销表面平整均匀,沟痕特征被遮盖,取而代之的是Ni-Co合金镀层形貌特征。

表面改性后活塞销的粗糙度约为0.32  $\mu\text{m}$ 。由图3所示的三维表面形貌可见,表面改性后活塞销表面无明显的凹坑和凸起,较为平整。

镀Ni-Co合金镀层实现表面改性,活塞销的表面成分见表1。分析表明,表面改性后活塞销的表面成分以Ni、Co、C元素为主。其中,Ni元素的质量分数约为63.6%,Co元素的质量分数约为12.5%。

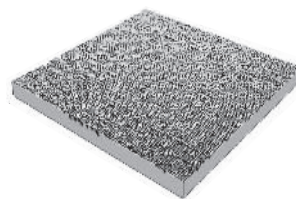


图3 表面改性后活塞销的三维表面形貌

表1 表面改性后活塞销的表面成分

元素	w/%
Ni	63.60
Co	12.50
C	22.25
O	1.65

综上所述,Ni-Co合金镀层能有效改善活塞销的表面状况。

#### 3.2 结合强度

结合强度是反映Ni-Co合金镀层与活塞销基体结合牢固程度的重要指标,更是Ni-Co合金镀层的各项性能得以实现的前提。对于表面改性后的活塞销,剥离试验显示,Ni-Co合金镀层未出现翘起,也未被剥落,表明Ni-Co合金镀层与活塞销基体结合牢固。Ni-Co合金镀层的各项性能得以实现,进而起到对活塞销表面改性的作用。

#### 3.3 硬度

硬度是影响材料性能的重要因素,材料的摩擦磨损性能等物理机械性能很大程度上取决于其硬度<sup>[5-6]</sup>。对于表面改性层,同样不例外。

在活塞销表面制备Ni-Co合金镀层过程中不涉及高温,因而对活塞销基体的内部组织无影响。换言之,活塞销基体的内部组织未发生变化。但Ni-Co合金镀层充当表面改性层,与活塞销基体牢固结合,致使活塞销基体的表面组织发生变化。为此,表面改性后活塞销的硬度并非完全由活塞销基体的本征结构所决定。

检测结果显示,表面改性后活塞销的硬度约为560 HV,明显高于表面改性前活塞销的硬度480 HV。制备Ni-Co合金镀层实现表面改性,使活塞销的硬度提高约17%。

### 3.4 抗拉强度

表面改性前活塞销的抗拉强度完全取决于活塞销基体的材质属性,而制备 Ni-Co 合金镀层实现表面改性,使活塞销的抗拉强度发生改变。

检测结果显示,表面改性前活塞销的抗拉强度约为 980 MPa,表面改性后活塞销的抗拉强度则接近 1050 MPa,相比提高约 7.2%。

研究表明,金属材料的抗拉强度与其结构致密度和硬度基本呈正相关关系<sup>[7]</sup>。对于表面改性后的活塞销,Ni-Co 合金镀层表面平整均匀,结构致密且硬度较高,或是其抗拉强度提高的原因。

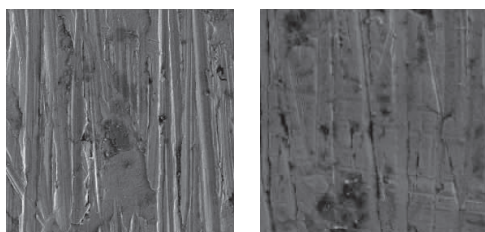
### 3.5 耐摩擦磨损性能

表 2 列出表面改性前后活塞销的磨损量和磨损速率。由表 2 可知,表面改性后活塞销的磨损量和磨损速率均更低,磨损量相比下降 17.5%,磨损速率则相比下降 17.9%。

表 2 表面改性前后活塞销的磨损量和磨损速率

状态	$m_{\text{磨损}}/\text{mg}$	$v_{\text{磨损}}/(\mu\text{g}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$
表面改性前	4.34	1.45
表面改性后	3.58	1.19

图 4(a)、图 4(b) 为表面改性前后活塞销的磨损形貌。由图 4(a) 可见,表面改性前活塞销磨损表面存在较深而且纹路清晰的犁沟以及磨屑块状剥落。据此推知,表面改性前活塞销的表面发生较为严重的磨粒磨损。由图 4(b) 可见,表面改性后活塞销磨损表面的犁沟较浅而且较窄,纹路相对模糊。据此推知,表面改性后活塞销的表面发生轻度磨粒磨损。



(a) 表面改性前 (b) 表面改性后

图 4 表面改性前后活塞销的磨损形貌

综上所述,表面改性后活塞销的耐摩擦磨损性能较好,更能够耐受磨损。

研究表明,摩擦过程中,活塞销表面的微凸体首先接触。如果微凸体的硬度较高,则相当于硬质压头,微凸体接触的局部会产生较大压力。随着摩擦过程进行,压力增大引发塑性变形,进而导致磨损<sup>[8-9]</sup>。

对于表面改性层,其硬度高,必然能够抵抗一定的塑性变形。接触摩擦过程中产生的塑性变形相对轻,不容易引发剥落、断裂等磨损缺陷,因而表现出较好的耐摩擦磨损性能。

## 4 结 论

利用电镀技术,在汽车活塞销表面制备 Ni-Co 合金镀层实现表面改性。活塞销表面改性依次经过前处理、表面改性和后处理。表面改性后活塞销的表面平整均匀,硬度提高且表现出较好的耐摩擦磨损性能。Ni-Co 合金镀层有效改善了活塞销的表面状况,使活塞销的硬度提高约 17%,磨损量和磨损速率分别相比下降 17.5% 和 17.9%。

## 参考文献

- [1] 金延安. 活塞销结构设计和加工工艺[J]. 现代零部件 2014 (1): 75.
- [2] 白欣, 黄博, 王立臣. 基于虚拟样机的发动机活塞销故障诊断研究[J]. 汽车技术 2005 (4): 20-23.
- [3] 陈锐. 汽车发动机活塞销的表面改性及摩擦学特性研究[D]. 上海: 上海大学 2004.
- [4] 张继魁, 张国亮, 纪同圣, 等. 重型汽车柴油机活塞销用钢及表面处理技术[J]. 汽车工艺与材料, 2015, (6): 46-50.
- [5] 盖秉政. 材料的硬度值与硬化指数[J]. 工程与试验, 1982 (1): 40-42.
- [6] 孙文博. 低碳钢冷成形过程硬度预测模型研究[D]. 武汉: 华中科技大学 2015.
- [7] 沈保罗, 李莉, 岳昌林. 钢铁材料抗拉强度与硬度关系综述[J]. 现代铸铁 2012, 32(1): 93-96.
- [8] 王刚, 薛东, 魏元生, 等. 活塞销表面 DLC 涂层的试验研究与应用分析[J]. 表面技术, 2014, 43(4): 124-128.
- [9] 侯峰岩, 路庆华, 谭兴海, 等. Co-Ni 合金镀层组织结构及性能研究[J]. 材料热处理学报, 2007, 28(1): 123-126.