

# 刷镀快速镍修复发动机曲轴的研究

包春江 王瑞丽 高安林

(沈阳农业大学)

**摘 要:** 利用 MM 200 型磨损试验机研究了快速镍刷镀层的耐磨性, 通过单因素试验和正交试验, 揭示了工作电压和电极相对速度对镀层耐磨性影响的规律, 得到最佳工艺规范参数。制定了曲轴的刷镀工艺, 并应用它对 L 195 柴油机的曲轴进行了刷镀修复, 然后装机在水力测功机上进行各种工况的耐久性试验。结果表明: 刷镀快速镍修复的曲轴, 耐磨性和结合强度高, 能够承受高速重负荷, 刷镀修复曲轴技术上可行, 经济上合算, 为刷镀快速镍修复发动机曲轴提供了依据。

**关键词:** 发动机曲轴; 刷镀; 快速镍; 修复

曲轴是发动机的重要零件, 价格高, 轴颈磨损到一定程度, 就要对其进行修理。常规的修理方法是采用修理尺寸法对曲轴进行磨削。在生产中, 常会遇到下述情况:

- 1) 下一级配合轴瓦买不到, 这种情况多出现在进口车上, 此时就不能采用修理尺寸法磨削曲轴。
- 2) 曲轴的某个轴颈异常磨损, 而其余轴颈磨损小, 若采用修理尺寸法磨削曲轴, 就必须将所有轴颈磨削到下一级甚至下二级的修理尺寸, 降低了曲轴的使用寿命, 此时不宜采用修理尺寸法磨削曲轴。

当不能或不宜采用修理尺寸法磨削曲轴时, 就要寻求合适的修复工艺, 恢复轴颈尺寸, 满足生产需要。目前, 低温电镀是修复曲轴中较理想的工艺, 但低温电镀属于槽镀, 不需镀覆的部位需要绝缘保护, 特别是当曲轴某个轴颈磨损异常, 需要镀覆, 而其余轴颈不需镀覆时, 采用低温电镀工艺就不合适了。而刷镀取消了镀槽, 不需镀积的部位可不加绝缘保护, 对于要求耐磨性较高的曲轴, 可以选择快速镍, 通过试验, 确定最佳刷镀工艺规范, 来满足曲轴对耐磨性和结合强度的要求。因此对刷镀快速镍修复发动机曲轴进行研究具有现实意义。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 快速镍刷镀液配方(表 1)

表 1 快速镍刷镀液配方

Tab 1 Formulations of high-speed nickel liquid

化学组成	硫酸镍	柠檬酸铵	乙酸铵	氨水
含量/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	250~ 260	80~ 100	20~ 30	适量

收稿日期: 1998-06-26 修订日期: 1999-07-06

包春江, 讲师, 博士生, 沈阳市东陵路 120 号 沈阳农业大学农业工程学院, 110161

## 1.2 试样

曲轴的材质多数为中碳钢表面淬火。为具有可比性,刷镀试样、对磨试样和标样为  $\Phi 80 \times \Phi 6 \times 10$  (mm) 的圆环,材质为 45 钢淬火,硬度 HRC52,表面粗糙度  $R_a 3.2$ 。

## 1.3 刷镀试验设计

已有的理论和试验表明,工作电压、电极相对速度和镀液温度等因素均影响刷镀层质量。但对镀液加热,既麻烦,又会恶化劳动环境。故本试验均在室温条件下进行,选取工作电压和电极相对速度为研究因素,进行单因素试验和正交试验。

### 1.3.1 单因素试验

- 1) 电极相对速度  $12.2 \text{ m/m in}$  不变,改变工作电压,寻求镀层耐磨性与工作电压的关系。
- 2) 工作电压  $14 \text{ V}$  不变,改变电极相对速度,寻求镀层耐磨性与电极相对速度的关系。

### 1.3.2 正交试验

取二因素三水平进行试验,工作电压为  $12 \text{ V}$ 、 $14 \text{ V}$  和  $16 \text{ V}$ ,电极相对速度为  $7.9 \text{ m/m in}$ 、 $12.2 \text{ m/m in}$  和  $17.3 \text{ m/m in}$ ,寻求主次因素和最佳刷镀工艺规范参数。

## 1.4 刷镀试验

使用 ZKD-1 型刷镀电源及配套阳极和镀笔,用特殊镍打底层,快速镍为工作层,刷镀试样外圆面。曲轴的一个修理级是  $0.25 \text{ mm}$ ,再加上刷镀后的磨削量,故单边镀厚应为  $0.15 \text{ mm}$  左右。为了满足刷镀快速镍修复曲轴的镀厚要求,采用快速镍夹心特殊镍结构模式,即工件经电净、活化和打底后,刷快速镍  $0.05 \text{ mm}$ ,然后用特殊镍夹心  $0.01 \text{ mm}$ ,再接着刷快速镍,这样夹心 3 次至所需厚度。

## 1.5 磨损试验

### 1.5.1 滑动摩擦磨损试验

在 MM 200 型磨损试验机上进行有润滑的滑动摩擦磨损试验,上试样为刷镀试样,固定不动,下试样为对磨试样,以  $400 \text{ r/m in}$  转动,负荷  $196 \text{ N}$ ,采用 CC 级 20 柴油机机油连续润滑,试验时间  $7 \text{ m in}$ 。刷镀层的耐磨性用下式<sup>[1]</sup>确定

$$\epsilon = 1/B$$

式中  $\epsilon$ ——镀层耐磨性,  $\text{mm}^{-1}$ ;  $B$ ——磨痕宽度,  $\text{mm}$ 。

### 1.5.2 滚动滑动复合摩擦磨损试验

将试件在 MM 200 型磨损试验机上进行滚动滑动复合摩擦磨损试验,上试样为刷镀试样,以  $180 \text{ r/m in}$  转动,下试样为对磨试样,以  $200 \text{ r/m in}$  转动,负荷  $588 \text{ N}$ ,采用 CC 级 20 柴油机机油连续润滑,试验时间  $35 \text{ m in}$ 。然后测量试件失重和观察有无镀层脱皮现象。

## 1.6 结合强度测试

采用锉削试验和淬火试验两种定性方法对快速镍刷镀层的结合强度进行测试。

### 1.6.1 锉削试验

将试件用虎钳固定,在试件边缘处,用锉刀由基体锉向镀层,锉刀与镀层面约成  $45^\circ$ 。锉削时,观察镀层是否产生成片揭起脱落现象。

### 1.6.2 淬火试验

将刷镀试件放入烘箱中加热到  $250^\circ \text{C}$ ,保温  $15 \text{ m in}$ ,然后取出立即浸入冷却水中冷却。取出后,用放大镜观察镀层是否产生裂纹、起皮或脱落现象。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 单因素试验结果与分析

从单因素试验结果看(图 1 和图 2), 随工作电压或电极相对速度增大, 刷镀层耐磨性升高, 达到峰值后, 其耐磨性又分别下降。这种规律是由于刷镀快速镍时, 若工作电压或电极相对速度过低, 阴极极化作用弱, 晶核的成核率小于生长率, 导致晶粒粗大, 降低了镀层耐磨性。随着工作电压或电极相对速度的提高, 阴极极化作用增强, 晶核生成速度大于成长速度, 获得结晶细密的镀层, 因而耐磨性提高。但在工作电压或电极相对速度过高时, 阴极极化作用过强, 会造成大量细晶粒的堆积, 形成细而不密的镀层, 导致耐磨下降。

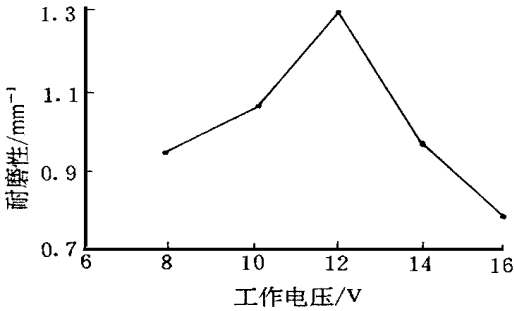


图 1 耐磨性和工作电压的关系

Fig. 1 Relation of abrasability and brush plating voltage

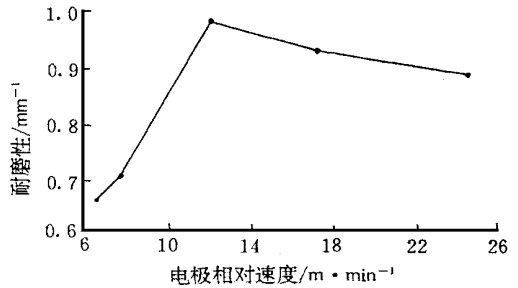


图 2 耐磨性和电极相对速度的关系

Fig. 2 Relation of abrasability and electrode relative velocity

### 2.2 正交试验结果与分析(表 2)

对试验结果进行极差分析可知, 影响快速镍刷镀层耐磨性的顺序为: 电极相对速度 > 电极相对速度与工作电压的交互作用 > 工作电压; 分析和试验所得的最佳工艺规范参数为: 工作电压 12 V, 电极相对速度 12.2 m/min。

从试验结果可以看出: 当工作电压和电极相对速度同时高或同时低时, 刷镀层耐磨性较低, 而二者一高一低时, 刷镀层耐磨性较高, 表明电极相对速度与工作电压的交互作用对刷镀层耐磨性有很大影响。这种规律可以用阴极极化理论来解释。当工作电压和电极相对速度同时高时, 使阴极极化作用剧增, 阴极周围严重缺乏金属离子, 形成很细晶粒, 但非常疏松, 因而不耐磨。当工作电压和电极相对速度同时低时, 阴极极化作用太弱, 形成粗大的晶粒, 因而不耐磨。当二者匹配合理时, 阴极极化作用恰当, 形成致密的刷镀层, 因而耐磨。

试验表明 45 钢淬火标样在同样的磨损试验条件下的耐磨性为 2.1 mm<sup>-1</sup>, 而正交试验 3 ~ 8 号试件的耐磨性均高于或相当于 45 钢淬火后的耐磨性。表明刷镀快速镍修复曲轴完全可以满足对耐磨性的要求。

表 2 正交试验结果

Tab. 2 Result of orthogonal test

试验号	电极相对速度 /m·min <sup>-1</sup>	工作电压 /V	耐磨性 /mm <sup>-1</sup>
1	7.9	12	1.700
2	7.9	14	1.616
3	7.9	16	2.105
4	12.2	12	2.667
5	12.2	14	2.500
6	12.2	16	2.160
7	17.3	12	2.577
8	17.3	14	2.222
9	17.3	16	1.763

### 2.3 结合强度测试结果与分析

经锉削试验、淬火试验以及滑动滚动复合摩擦磨损综合性能试验,结果表明刷镀层与基体结合良好,无脱皮现象,磨损微量,耐磨性高,抗负荷能力强,能够满足曲轴对结合强度、耐磨性和承载能力的要求。

在试验中,为了提高结合强度,采取了一些技术措施。如在刷特殊镍和快速镍时,先无电擦拭工件表面,这样能获得结合良好的镀层。这是因为特殊镍为酸性镀液,无电擦拭工件表面,使其受一次弱腐蚀,一方面能去除短时间内生成的氧化膜,另一方面又能使金属表面得到轻微的刻蚀,呈现金属基体的结晶组织,保证镀层结合良好。快速镍为偏碱性镀液,无电擦拭工件表面,使阴极和阳极表面 pH 值趋于一致,消除起镀时在大电流冲击下,由浓差极化造成镀层氧化现象,从而提高了镀层的结合力。

## 3 刷镀快速镍修复曲轴工艺

为保证镀层与基体有良好的结合力,对曲轴必须进行仔细的镀前处理,如曲轴磨削修整、除油和防腐。对于不同材质的曲轴,其刷镀工艺是不同的。

### 3.1 锻钢表面淬火曲轴的刷镀工艺

- 1) 电净:电净液,正接,工作电压 12~15 V,电净 15~30 s。
- 2) 一次活化:2号活化液,反接,工作电压 6~12 V,活化 15~30 s。
- 3) 二次活化:3号活化液,反接,工作电压 15~20 V,活化 15~30 s。
- 4) 打底层:特殊镍,无电擦拭 3~5 s,正接,18 V 闪镀,降至 10~15 V,电极相对速度 12~15 m/m in,镀厚 1~3  $\mu\text{m}$ 。
- 5) 刷工作层:快速镍,无电擦拭 3~5 s,正接,工作电压 12~14 V,电极相对速度 12~15 m/m in,夹心特殊镍 2~3 次至所需厚度。

### 3.2 球墨铸铁曲轴的刷镀工艺

- 1) 电净:电净液,正接,工作电压 15~20 V,电净 30~60 s。
- 2) 一次活化:2号活化液,反接,工作电压 8~12 V,活化 30~60 s。
- 3) 二次活化:3号活化液,反接,工作电压 18~20 V,活化 30~60 s。
- 4) 刷工作层:快速镍,无电擦拭 3~5 s,正接,工作电压 12~14 V,电极相对速度 12~15 m/m in,夹心特殊镍 2~3 次至所需厚度。

以上刷镀工艺中,各工序之间需要清水冲洗,刷镀后的曲轴轴颈表面暗灰色,通过磨削才能露出银白色的镍,并且可以去除表层粗大的晶粒,同时能保证曲轴轴颈的尺寸、形位公差和配合间隙。

## 4 台架试验及刷镀修复曲轴的经济性分析

### 4.1 台架试验

对 L195 柴油机曲轴进行刷镀快速镍修复,然后装机,在水力测功试验机上进行各种工况的运行,累计工作 100 h。将曲轴从发动机上拆下来,测量磨损量及观察刷镀层有无脱皮等现象。试验结果表明,轴颈磨损量极小,镀层无脱皮等异常现象。证明刷镀快速镍修复曲轴能够承受高速重负荷,满足曲轴对结合强度和耐磨性的要求,说明刷镀快速镍修复发动机曲轴在技术上是可行的。

## 4.2 刷镀修复曲轴的经济性分析

由于电净液、活化液和特殊镍的用量很少,故刷镀修复成本主要取决于快速镍的用量。快速镍的用量可用下式<sup>[2]</sup>来确定

$$L = 10S \delta \gamma K / M$$

式中  $L$  —— 镀液用量, mL;  $S$  —— 被镀面积,  $\text{dm}^2$ ;  $\delta$  —— 镀层厚度,  $\mu\text{m}$ ;  $\gamma$  —— 镀层金属比重,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $K$  —— 损耗系数, 取 1.5~2.0;  $M$  —— 镀液中金属离子含量,  $\text{g}/\text{L}$ 。

经计算,刷镀快速镍修复单个中等尺寸轴颈的成本不超过 10 元,具有显著的经济效益。

## 5 结 论

- 1) 采用快速镍夹心特殊镍结构模式,解决了刷镀修复曲轴对镀层厚度的要求。
- 2) 通过单因素试验和正交试验,揭示了工作电压和电极相对速度对镀层耐磨性影响的规律,得到最佳刷镀工艺规范参数:工作电压 12V,电极相对速度 12.2 m/m in。镀层耐磨性高于 45 钢淬火后的耐磨性,满足曲轴对耐磨性的要求。
- 3) 通过结合强度测试,证明镀层与基体结合牢固,满足曲轴对结合强度的要求。
- 4) 通过台架试验和经济性分析,说明刷镀快速镍修复发动机曲轴技术可行,经济合算。

### [参 考 文 献]

- [1] 梁肇伟,戴向中,束明鑫 刷镀新技术 北京:人民交通出版社 1985 122  
 [2] 李基森,龚秀英 电刷镀溶液 上海:上海科学技术文献出版社 1989 220

## Study on Repairing Crankshaft With High-Speed Nickel Brush-Plating

BAO Chun-jiang WANG Rui-li GAO An-lin  
 (Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161)

**Abstract:** The abrasability of High-Speed Nickel film was tested on MM 200 wear-test machine in this paper. Through single-factor experiments and orthogonal experiments, the rules of effect of brush plating voltage and electrode relative velocity on film abrasability were developed, the optimum parameters were obtained. The crankshaft brush plating procedure was formulated which was used for repairing a L 195 diesel engine crankshaft. The durability of various operating mode was tested on a hydraulic dynamometer. The results showed that the abrasability and unite strength of High-Speed Nickel brushed crankshaft were improved, which can afford high speed heavy load. Repairing crankshaft with High-Speed Nickel was reasonable in technique and economy, which provided basis for repairing crankshaft.

**Key words:** crankshaft of engine; brush-plating; High-Speed Nickel; repairing