

超声微研磨装置的研制 *

张云电

(杭州电子工业学院机械工程系 杭州 310037)

2001年9月17日收到

摘要 气缸工作表面必须生成储油结构。在缸套工作表面原已形成数以万计、相互独立、深度一致的微坑,在此基础上,本文使用超声微研磨方法再形成一些细小的、不均匀分布的微细沟槽或点坑,以形成复合储油结构。文章提出了超声微研磨方法,设计了超声微研磨装置,测量了超声换能器的谐振频率,为工业化试验和应用奠定了基础。

关键词 超声,微研磨,装置

Development of ultrasonic fine-lapping device

ZHANG Yundian

(Department of Mechanical Engineering, Hangzhou Institute of Electronic Engineering, Hangzhou 310037)

Abstract There must be oil storing structure on the working surface of the engine cylinder. Presently there always are ten thousands of micro-pits of independent, uniform distribution, regular shape and uniform depths on the cylinder working surface. On this basis, we propose to form additional thin and nonuniformly distributed oil grooves to develop complex oil storing structure by means of ultrasonic fine lapping. The principle of ultrasonic fine lapping is proposed in this paper, and a practical device is designed. The resonance frequency are measured.

Key words Ultrasonics, Fine lapping, Device

1 引言

气缸—活塞环是汽车、摩托车、拖拉机等动力产品中高速运动的摩擦副。实践证明,气缸工作表面必须生成储油结构^[1],以储存润滑油,减少摩擦与磨损,节约能源,减少污染,保证气缸—活塞环运动副的寿命。

目前的气缸工作表面储油结构主要有网状

裂纹型、网状交叉型和微坑型(有独立微坑和非独立微坑之差别)三种结构。迄今为止的加工方法都只能形成单一类型的储油结构,还不能形成图1(d)所示的复合储油结构,以实现零磨损。

本文提出了一个新思想,即先采用普通激光珩磨^[2]或低频振动加工方法^[3],在气缸工作表面形成数以万计、相互独立、深度一致的

* 国家自然科学基金资助项目,国家中小企业技术创新基金资助项目,浙江省自然科学基金资助项目

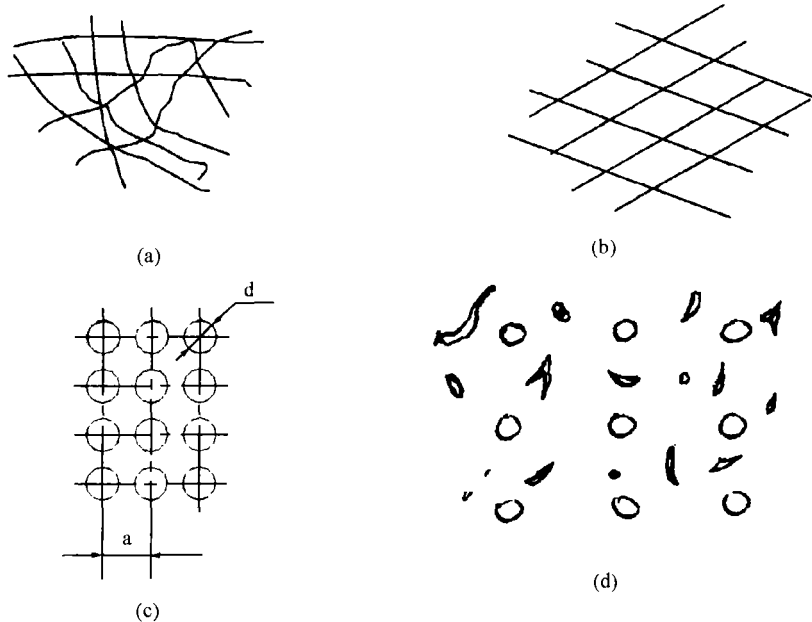


图1 气缸工作表面的储油结构

(a) 网状裂纹型储油结构 (b) 网状交叉型储油结构 (c) 微坑型储油结构 (d) 复合储油结构

蜂窝状微坑，然后在此基础上，用超声微研磨方法再形成一些更细小的、不均匀分布的微细沟槽或点坑，形成气缸工作表面的复合储油结构。

2 超声微研磨原理

超声微研磨装置主要由超声发生器、换能器、变幅杆和微研磨工具组成，见图2。

超声微研磨装置的工作原理是：超声波发生器将220V、50Hz的交流电转换为超声频电振荡信号，换能器将超声波发生器产生的电振荡信号转换为超声频机械振动，变幅杆将换能器的振动放大后传输给微研磨工具。微研磨工具外圆表面电镀金刚石或CBN。

超声微研磨装置有三个基本运动：旋转运动，直线运动，微研磨工具的复合振动（纵向振动和横转振动的复合）。

在超声微研磨过程中，应向微研磨工具和气缸工作表面之间施加SiC和研磨液的混合物。

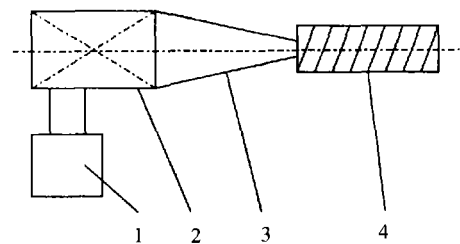


图2 超声微研磨装置示意图

1— 超声波发生器 2— 换能器
3— 变幅杆 4— 微研磨工具

3 超声换能器

为了提高电-声能量转换效率，便于冷却，减小体积，超声微研磨装置采用了夹芯式压电换能器，如图3所示。

当振动节点取在夹芯式压电换能器两个压电陶瓷片中间时，夹芯式压电换能器的谐振频率方程为

$$\text{ctg}k_0l_0\text{ctg}k_1l_1 = \frac{Z_1}{Z_0} \cdot \frac{1}{1-k_f^2} \quad (1)$$

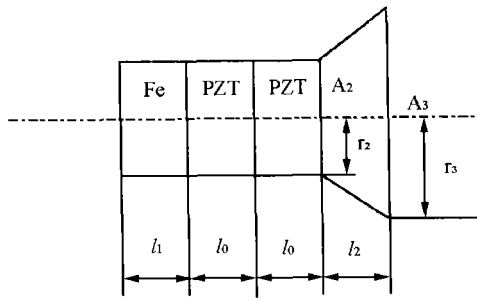


图3 夹芯式压电换能器

式中： $Z_0 = \rho_0 C_0$ ， $Z_1 = \rho_1 C_1$ ， ρ_0 — 压电陶瓷材料密度 (kg/mm^3)； ρ_1 — 钢质反射罩材料密度 (kg/mm^3)； C_0 — 声波在压电陶瓷材料中传播的速度 (mm/s)； C_1 — 声波在钢质反射罩材料中传播的速度 (mm/s)； A_2 — 钢质反射罩截面、压电陶瓷片截面和铝合金声头的小端面积 (mm^2)； A_3 — 铝合金声头的大端面积 (mm^2)；

l_0 — 压电陶瓷片厚度 (mm)；

l_1 — 钢质反射罩厚度 (mm)；

L_2 — 铝合金声头厚度；

$l_1 + l_0 = l_0 + l_2 = \lambda/4$

λ — 波长 (mm)；

k_l — 机电耦合系数，

$k_0 = \frac{\omega}{C_0}$ ， $k_1 = \frac{\omega}{C_1}$ ， $\omega = 2\pi f$ ，

f — 谐振频率 (Hz)。

钢质反射罩和铝合金声头尺寸之间有下列关系：

$$\frac{Z_1}{Z_2} \operatorname{tg} k_1 l_1 = \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{k_2 l_2 - \frac{(r_3 - r_2)^2}{r_2 r_3 k_2 l_2} \left(1 - \frac{k_2 l_2}{\operatorname{tg} k_2 l_2}\right)}{\frac{k_2 l_2}{\operatorname{tg} k_2 l_2} - \frac{r_3 - r_2}{r_3}} \quad (2)$$

式中： $Z_2 = \rho_2 C_2$ ， ρ_2 — 铝合金声头材料密度 (kg/mm^3)， C_2 — 声波在铝合金材料中传播的速度 (mm/s)。

夹芯式压电换能器的幅频特性见图4。

4 超声变幅杆和微研磨工具

超声变幅杆采用指数型变幅杆。

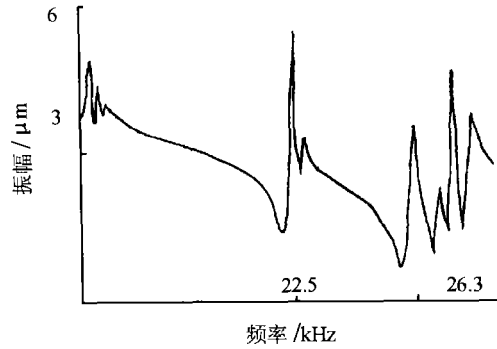


图4 夹芯式压电换能器的幅频特性

微研磨工具与变幅杆的联接质量影响以下四个问题：

- (1) 在超声频率振动的作用下，微研磨工具是否会从变幅杆上松动和脱落下来；
- (2) 微研磨工具与变幅杆的轴线能否保持同轴；
- (3) 声能传递效率；
- (4) 装卸难易程度。

在微研磨工具和变幅杆中间，我们采用了圆柱销定位和螺栓联接。试验结果表明，联接可靠，声能传输效率高，便于装卸，满足加工要求。

测试结果表明，谐振频率为22.56kHz，微研磨工具振幅为13.8 μm ，可以满足微研磨的需要。

由于加工对象直径较大，达 $\phi 93\text{mm}$ ，设计过程中要统筹兼顾振幅、效率、稳定性和噪声等问题。

我们设计制造的第一个 $\phi 93\text{mm}$ 微研磨工具在满足了频率、振幅和输出功率之后，工作过程中出现了两大问题：一是产生刺耳的噪声，令人难以承受；二是声学系统发热严重，10分钟后温度升至70 $^{\circ}\text{C}$ ，已经烫手。经过改进，现已消除了噪声和温升。

5 试验

我们将自行研制的超声微研磨装置安装在

(下转第11页)

增加约 5dB(A)。

3 几点讨论

(1) 由上海轻轨明珠线列车运行噪声的实测结果分析发现,路面轨道噪声和桥架轨道噪声存在明显差异。相对路面轨道噪声而言,桥架轨道噪声不仅噪声幅值有所提升(相同的列车运行速度),而且频谱特性也发生了很大的变化,通常的声屏障设计理念实际上并不完全适用于桥架轨道噪声的控制。

(2) 对于桥架轨道,列车运行时轮轨摩擦引起桥架振动辐射的“二次噪声”对桥架上的声屏障降噪效果会产生非常明显的掩蔽效应。已有的试验结果表明^[2],路面轨道设置 4.4m 高声屏障时,在离声屏障 10-30m 测量距离范围内,其降噪效果约在 13-15dB(A)。而根据本文中表 3 数据推测,在桥架轨道上设置 4.4m 高声屏障的降噪量不超过 8dB(A)。

(3) 参考文献 [1] 表明,在桥架轨道辅以良好的隔振处理,列车运行噪声可望获得近 10 dB(A) 的降噪量。即是说,桥架振动辐射的“二次噪声”将会明显降低。因此,这时在桥架轨道上设置 4.4m 高声屏障的降噪效果也将在 15dB(A) 左右。

(4) 本文对路面轨道噪声 A 计权声级随距离衰减的测量结果获得的衰减规律,应同样可借用到桥架轨道噪声的数据分析。尽管桥架轨道噪声在幅值和频谱特性存在一定差异,但对桥架上设置的不同高度声屏障降噪效果做相对分析时,其修正值遵循的衰减规律一致,不存在系统误差的修正问题,因而不失相对比较结果的可靠性和真实性。

参 考 文 献

- 1 王季卿.城市轨道交通系统噪声控制设计进展[J],噪声与振动控制,1997,96.
- 2 魏化军.上海市轨道交通明珠线隔声障试验研究[J],声学技术,1999,(增刊)

(上接第 42 页)

M4215B 珩磨机进行了试验,取得了满意的试验效果。

(1) 超声微研磨装置声学系统稳定,传声效率高。研磨工具振幅达 15 μ m 以上。在工具端面施加煤油时,可发现有强烈的雾化现象,煤油被雾化喷出 300mm 以外。

(2) 工作频率稳定。谐振频率为 22.5 kHz,每次开机不会影响谐振频率的变化。

(3) 与传统研磨加工方法相比,轴向力降低 30%,扭矩降低 30%-50%。

(4) 金属切除效率提高 50%。

(5) 使用超声微研磨装置对零件进行研磨

加工,圆度误差可控制在 6 μ m 以内,直线度误差可控制在 5 μ m 以内。

(6) 微研磨工具耐磨性高,更换容易,满足了超声微研磨的加工要求。

(7) 超声微研磨方法与蜂窝状微坑加工方法可以复合在同一道工序、同一台设备中使用,可形成摩擦副工作表面的复合储油结构,可为发动机制造业提供一种关键制造装备。

参 考 文 献

- 1 Priest M, Taylor C M. WEAR, 2000, 241: 193-203.
- 2 [德]Klink U. 国外内燃机, 1998, (2): 50-52.
- 3 张云电. 薄壁缸套生产技术. 北京: 国防工业出版社, 2000: 247-253.