

结构与可靠性

CKS 活塞环与合金铸铁缸套匹配规律研究

陆传荣¹, 朱 峰², 金 梅², 徐久军²

(1. 海军驻七一一研究所军事代表室, 上海 201108; 2. 大连海事大学, 辽宁 大连 116026)

摘要: 针对 CKS 活塞环-合金铸铁缸套配对副, 将 CKS 活塞环与不同材质、珩磨纹角度和表面粗糙度的合金铸铁缸套对磨, 通过比较各配对副的摩擦、磨损性能和抗黏着性能, 研究 CKS 活塞环与合金铸铁缸套的匹配规律。研究表明: 当与 CKS 活塞环配对时, 四种材质缸套的抗黏着性能相近, CuVTi 材质的缸套表现出较低摩擦系数和磨损量; 缸套珩磨纹角度为 40°、表面粗糙度为 1 μm 时, 摩擦、磨损和抗黏着性能更优。

关键词: 合金铸铁缸套; CKS 活塞环; 匹配; 性能

中图分类号: TK423.3+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)03-0014-04

Matching Rule of CKS Piston Ring with Alloy Cast Iron Cylinder Liner

Lu Chuanrong¹, Zhu Feng², Jin Mei², Xu Jiujun²(1. Naval Deputy Office of Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)
2. Dalian Maritime University, Liaoning Dalian 116026)

Abstract: CKS piston ring had been matched with alloy cast iron cylinder liners of different composition, honing angle and surface roughness. Friction, wear and anti-scuffing properties were compared to study the matching rule of friction pair. The results showed that: when matched with CKS piston ring, the anti-scuffing properties of cylinder liner made of four different materials were similar, and CuVTi alloy cast iron cylinder liner showed a lower coefficient of friction and wear. The honing angle of 40° and surface roughness of 1 μm showed better friction, wear and anti-scuffing properties.

Keywords: alloy cast iron cylinder liner; CKS piston ring; matching; performance

0 前 言

随着柴油机向着高速重载的方向发展, 核心摩擦副气缸套-活塞环所承受的热负荷和机械负荷也越来越大^[1], 传统的镀铬、喷钼等活塞环在高功率密度条件下出现拉缸、严重磨损等问题。铬基陶瓷复合镀(CKS)采用逐层沉积的方式, 周期换向电流, 将 Al₂O₃、SiC 或 TiO₂ 等陶瓷颗粒嵌入镀铬层固有的微裂网纹中^[2-5]。用该工艺制备的活塞环具有突出的耐磨性和优良的高温承载性能^[6-8], 可满足高功率密度柴油机的需求。

船用柴油机缸套一般采用合金铸铁材料, 其减摩和耐磨机理为以磷共晶为主体的合金化合物

相为第一滑磨面, 以珠光体为镶嵌基体, 以石墨为储油和固体润滑相。但是以不同元素强化的合金铸铁缸套与 CKS 活塞环配对时的摩擦磨损规律尚不清楚。本文选择了四种常用的船用柴油机缸套合金铸铁材料, 并加工得到不同的表面粗糙度和珩磨纹角度, 通过比较该四种材料与 CKS 活塞环对磨时的摩擦、磨损性能和抗黏着性能, 优化得到与 CKS 活塞环具有良好配对性能的缸套材料及表面参数。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料及设备

从气缸套、活塞环零件上切取试样进行试验。

收稿日期: 2014-02-15

作者简介: 陆传荣(1974-), 男, 工程师, 主要研究方向为船舶动力装置设计。

气缸套选用小平台珩磨的合金铸铁缸套, 缸径 190 mm。四种材质、二种角度珩磨纹、二种表面粗糙度组成的试验方案如表 1 所示。缸套基体组织均由珠光体、片状石墨及硬质相组成。

表 1 各缸套编号、材质、珩磨纹角度及表面粗糙度

编号	材质	珩磨纹角度/(°)	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$
1#	CuNiCr	40	1
2#	CuCrMo	40	1
3#	CuVTi	40	1
4#	KCuVTi	40	1
5#	CuNiCr	50	1
6#	CuNiCr	40	2.5

CKS 活塞环的外径 190 mm, 镀层厚度约 250 μm , 硬度 920HV_{0.1}。图 1 为活塞环工作表面形貌, 可见表面密布着细小的网状裂纹, 高倍下观察裂纹中镶嵌着细小的陶瓷颗粒。经 EDX 能谱分析, 该颗粒成分为 Al 元素和 O 元素, 原子百分比 2:3, 为 Al₂O₃ 陶瓷颗粒, 能谱中的 Cr 元素应为镀层基质元素, 见图 2。

润滑介质选用昆仑 CD40 润滑油。

本文采用对置往复摩擦磨损试验机进行试验, 其结构及原理如图 3 所示。

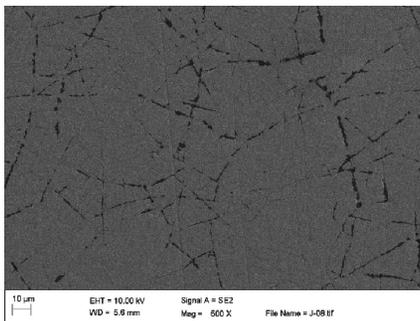


图 1 CKS 活塞环表面形貌 (SEM)

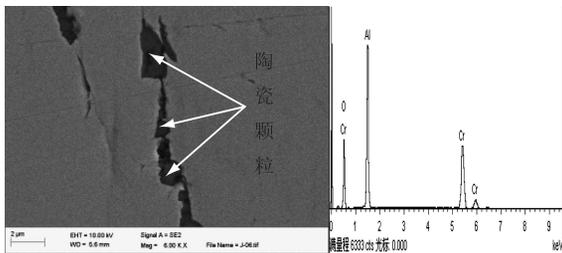
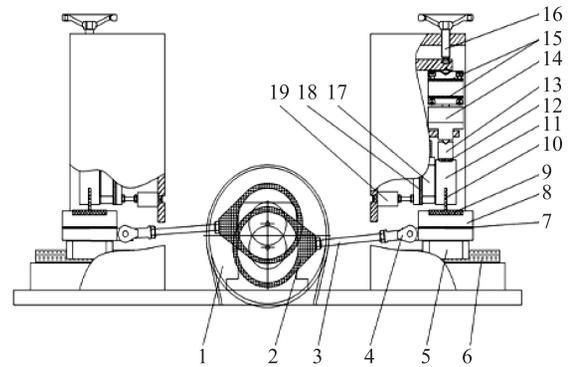


图 2 CKS 活塞环陶瓷颗粒形貌 (SEM) 及成分 (EDX)

1.2 摩擦、磨损性能试验

针对缸套-活塞环上止点附近的边界润滑状态, 本文通过模拟气缸套-活塞环配对副的往复运动形式、上止点附近工作温度, 同时降低气缸套、活塞环试样之间的相对滑动速度来获得其边界润滑状态, 并在保持边界润滑状态的前提下, 采用强化载

荷的方式加速磨损进行摩擦、磨损性能试验。



1-同步带轮; 2-对置偏心轴; 3-连杆; 4-关节连接机构; 5-加热块滑块; 6-加热块导轨; 7-绝缘隔热层; 8-加热块; 9-缸套试样; 10-活塞环试样; 11-压头; 12-滚针; 13-自调心压块; 14-电阻应变式传感器; 15-板簧; 16-加载螺杆; 17-压头滑块; 18-压头导轨; 19-压电式传感;

图 3 对置往复摩擦磨损试验机结构原理图

选取四种载荷、一种温度和一种转速进行试验, 方案见表 2。每组的试验时间为 24 h, 其中磨合时间 3 h, 磨合载荷为 10 MPa。润滑油通过蠕动泵恒速供给, 供油量约 0.1 (mL·min⁻¹)。针对试验结果离散性大的问题, 每组试验参数须重复至少四次取均值。

选取 1 000 个往复循环摩擦力值的平均值, 除以法向压力得到摩擦系数; 采用梅特勒 AL204-IC 型电子天称 (精度 0.1 mg) 称量缸套试样磨损前后的质量差值来表示磨损量。

表 2 摩擦、磨损性能试验参数

转速/(r·min ⁻¹)	200 (最大线速度 0.315 (m·s ⁻¹))
温度/°C	150
载荷/MPa	20、80、100、120

1.3 抗黏着性能试验

本文采用贫油的试验方法来评价摩擦副的抗黏着性能^[9], 试验分为三个阶段: 低载磨合阶段、高载磨合阶段、断油摩擦阶段, 其中以从断油至拉缸的时间长短来评价摩擦副的抗黏着性能。

试验中低载磨合阶段与高载磨合阶段连续充分供油, 供油量约 0.1 (mL·min⁻¹), 高载磨合阶段结束时停止供油, 保持载荷、温度不变, 持续试验至拉缸。选择三种载荷进行试验, 试验方案见表 3。

表 3 抗黏着性能试验参数

试验阶段	温度/°C	载荷/MPa	时间/min
低载磨合阶段	120	10	10
高载磨合阶段	200	60、80、100	150
断油摩擦阶段	温度载荷保持不变, 停止供油, 磨至拉缸		

注: 转速均为 200 (r·min⁻¹)。

2 试验结果与分析

2.1 缸套材质与摩擦磨损及黏着性能

图 4 为四种缸套材料与 CKS 活塞环配对时摩擦系数随载荷的变化规律, 可见当载荷为 20 MPa 时, 各缸套的摩擦系数相近, 随载荷增大, 摩擦系数出现差别, 其中 3# 缸套摩擦系数最低, 摩擦系数由大到小的顺序为: 1#>4#>2#>3#, 即 CuVTi 材质缸套与 CKS 活塞环配对时的摩擦系数最低。

图 5 为 100 MPa 下四种材质缸套的磨损量, 可见, 与 CKS 活塞环配对时, 2# 缸套的磨损量最大, 其它三种缸套的磨损量相近, 约为 2# 缸套的 1/2。

图 6 是四种缸套材质的抗黏着性能随载荷的变化规律, 可见四种缸套抗黏着性能相近, 其中 4# 缸套略好。

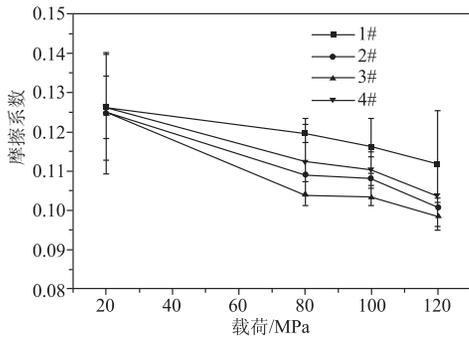


图 4 4 种缸套与 CKS 活塞环配对的摩擦系数

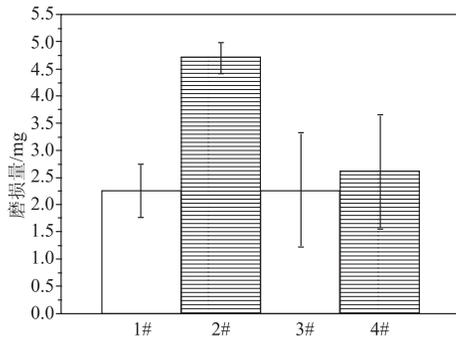


图 5 4 种材质缸套的磨损量

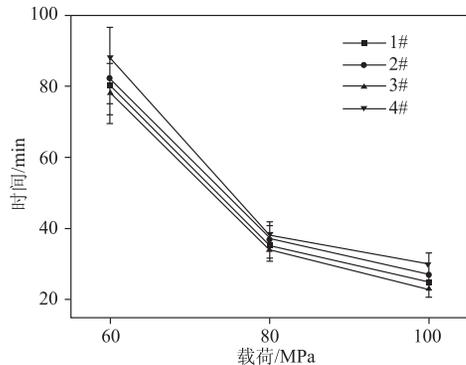


图 6 缸套材质对抗黏着性能影响规律

2.2 缸套珩磨纹角度与摩擦磨损及黏着性能

图 7 是缸套珩磨纹角度对摩擦系数影响规律, 可见两者的摩擦系数及其变化趋势均相近, 1# 缸套略低。图 8 是 100 MPa 下不同珩磨纹角度缸套的磨损量对比图, 可见, 1# 缸套和 5# 缸套的磨损量相近, 5# 缸套的略低。图 9 是不同载荷时, 两种珩磨纹角度对断油摩擦时间的影响规律。由图可以看出, 在 60 MPa 下 1# 缸套抗黏着性能优于 5# 缸套, 当载荷升高到 80 MPa 后, 二者的抗黏着性能相近。

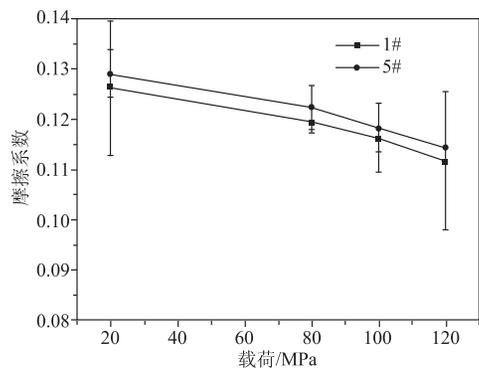


图 7 缸套珩磨纹角度对摩擦系数影响规律

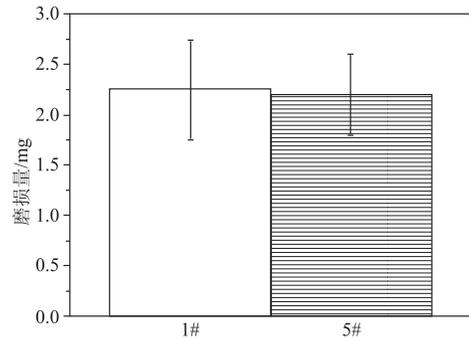


图 8 不同珩磨纹角度缸套磨损量对比图

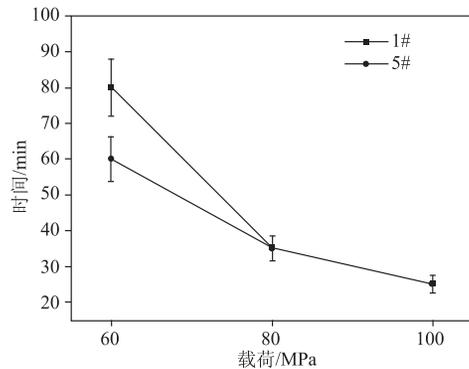


图 9 缸套珩磨纹角度对抗黏着性能影响规律

2.3 缸套表面粗糙度与摩擦磨损性能

图 10 是缸套表面粗糙度对摩擦系数影响规律, 由图可见, 在低载下 (20 MPa), 1# 缸套摩擦系数明显低于 6# 缸套, 而随载荷增加, 两种缸套摩擦

系数差值逐渐减小。图 11 是 100 MPa 下不同表面粗糙度缸套的磨损量对比图, 可见二者磨损量相近, 6#缸套的磨损量略低。图 12 是缸套表面粗糙度对抗黏着性能影响规律, 可以看出, 在 60 MPa 下 1#缸套抗黏着性能优于 6#缸套, 当载荷升高到 80 MPa 后, 二者抗黏着性能相近。

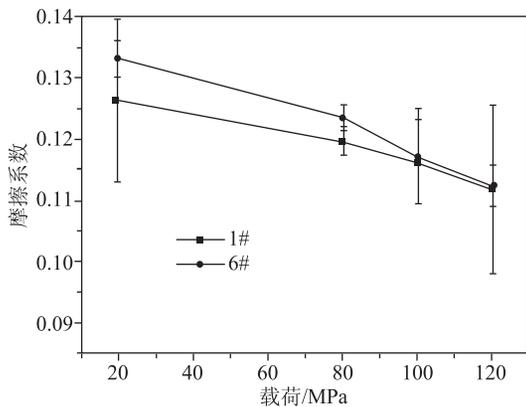


图 10 缸套表面粗糙度对摩擦系数影响规律

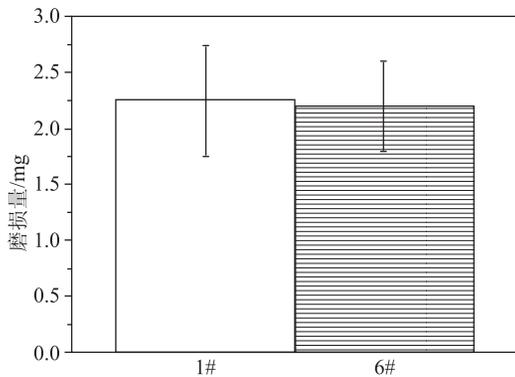


图 11 不同表面粗糙度缸套磨损量对比图

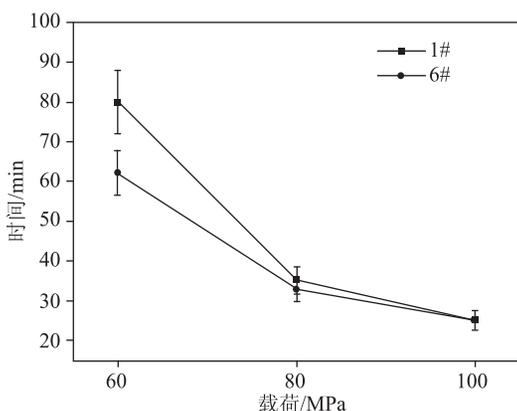


图 12 缸套表面粗糙度对抗黏着性能影响规律

3 结 论

(1) CuVTi 缸套与 CKS 活塞环的配对性较好。四种缸套的抗黏着能力相近, 其中 CuNiCr 和 CuV-Ti 的磨损量较低, CuVTi 的摩擦系数最低。

(2) 缸套珩磨纹角度对摩擦磨损和抗黏着性能影响不大, 40°时的摩擦系数和抗黏着性能略好。

(3) 缸套表面粗糙度对摩擦磨损和抗黏着性能影响不大, 1 μm 时略优。

参考文献

- [1] 候林冲, 彭银江, 周灵展, 等. 高功率密度柴油机铝活塞材料与铸造技术[J]. 车用发动机, 2013, 1: 89-92.
- [2] Gao Jifeng, Suo Jinping. Preparation and characterization of the electrodeposited Cr-Al₂O₃/SiC composite coating [J]. Applied Surface Science. 2011, 257: 9643-9648.
- [3] Surviliene S, Orlovskaja L, Bikulcius G, et al. Effect of MoO₂ and TiO₂ on electro deposition and properties of chromium coating [J]. Surf Coat Technol, 2001, 137:230-234.
- [4] M. Arab Juneghani, M. Farzam, H. Zohdirad. Wear and corrosion resistance and electroplating characteristics of electrodeposited Cr-SiC nano-composite coatings [J]. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2013, 23: 1993-2001.
- [5] Zeng Zhixiang, Zhang Junyan. Electro deposition and tribological behavior of amorphous chromium-alumina composite coatings [J]. Surf Coat Technol, 2008, 202:2725-2730.
- [6] 郝放. 活塞环铬基陶瓷复合镀 [J]. 内燃机与配件, 2010(5):22-25.
- [7] Jeong Hwan Jang, Byeong Don Joo, Jae Ho Lee, et al. Effect of hardness of the piston ring coating on the wear characteristics of rubbing surfaces [J]. Metals and Materials International, 2009, 15(6): 903-908.
- [8] P Papadopoulos, M Priest, W M Rainforth. Investigation of fundamental wear mechanisms at the piston ring and cylinder wall interface in internal combustion engines [J]. Journal of Engineering Tribology, 2007, 221(3): 333-343.
- [9] 金梅, 沈岩, 朱亚琼, 等. 基于贫油试验方法的镀铬缸套-喷钼活塞环抗黏着性能研究[J]. 车用发动机, 2012(6):43-50.