

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0598-03

激光相变硬化提高内燃机汽缸与活塞环 摩擦副寿命的研究

廖钟亮 张德元 周 喆 罗 文 付青峰 曾卫军

(江西省科学院激光技术中心, 南昌 330029)

摘要 对普通灰口铸铁和含磷、钼、铬等合金铸铁制作的中小型内燃机汽缸与活塞环摩擦副材料进行了激光相变硬化工艺处理与匹配优化。成组配对后的滴油摩擦磨损试验表明,经激光相变硬化后的气环与汽缸的最佳匹配为磷铬钼合金铸铁气缸与铬钼铜合金铸铁活塞环的匹配,比不经激光处理的相同的摩擦副磨损速率明显降低。

关键词 激光相变硬化, 摩擦副, 汽缸, 活塞环

中图分类号 TG156.99 文献标识码 A

Research of Life Elongation of Friction Pair of Cylinder and Piston Ring by Laser Hardening

LIAO Zhong-liang ZHANG De-yuan ZHOU Zhe LUO Wen
FU Qing-feng ZENG Wei-jun

(R&D Center of Laser Technology, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330029)

Abstract The pairs of cylinder and piston ring of internal combustion engine made by gray cast and alloyed cast respectively by laser quenching were optimized. Wear experiments with enough lubricates showed that the best pair of laser hardening cylinder and piston ring is cylinder alloyed with phosphorus, Chromium and molybdenum with piston ring alloyed with Chromium, molybdenum and copper which has much lower wear velocity than that without laser hardening.

Key words laser phase transformation hardening, friction pair, cylinder, piston ring

1 引 言

在内燃机的设计和制造过程中,往往将汽缸与活塞环单独进行表面处理以提高它们的耐磨性。目前已有许多激光相变强化汽缸或活塞环的相关研究报告^[1-3]。但将激光相变硬化后的缸与环作为一个体系来综合考虑的报道较少。在实际应用中,将耐磨性好的汽缸与耐磨性好的活塞环匹配在一起时,摩擦副的使用寿命未必就很高。这是由于忽视了摩擦副这个矛盾体在诸多因素上形成的统一关系^[4]。本文对激光相变强化处理后的中小型内燃机汽缸与活塞环摩擦副材料进行了显微硬度测试和分组匹配后的滴油摩擦磨损试验,以寻找合理的耐磨损高寿命的配对摩擦副。

2 试验材料与试验方法

汽缸材料选普通灰口铸铁 HT300 与磷铬钼合金铸铁;活塞环材料选钼铬铜合金铸铁与钨钒钛合金灰口铸铁。为叙述方便,将各种经激光硬化处理的材料标号如下:HT300 普通灰口铸铁缸为 A_1 ,磷铬钼合金铸铁缸为 A_2 ,钼铬铜合金铸铁环为 B_1 ,钨钒钛合金铸铁环为 B_2 ,按排列组合匹配为 $A_1 - B_1, A_1 - B_2, A_2 - B_1, A_2 - B_2$ 四对摩擦副。

汽缸材料试样尺寸为 $\phi 45 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$,表面粗糙度 $R_z = 0.6 \mu\text{m}$;活塞环材料试样选用 $\phi 55 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 矩形气环,10 个排齐,用夹具夹紧。汽缸材料和活塞环材料表面均匀喷涂激光涂料后用多模 CO_2 激光器进行激光相变硬化,激光波长 $10.6 \mu\text{m}$,功率

800 W, 光斑 $\phi 3$ mm。激光光斑扫描速度 20 mm/s。汽缸材料与活塞环材料激光相变硬化前的硬度测试采用洛布维式硬度计, 而激光相变硬化后的显微硬度测试采用 ZWACK 显微硬度计, 载荷 0.1 kg。

将四组激光相变硬化后的摩擦副在 MM200 磨损试验机上进行滑动磨损试验。活塞环试件固定不动, 汽缸材料转动, 转速为 400 r/min。根据实际工

况下的润滑条件, 在摩擦面上滴 20 号机油润滑, 每分钟 12~15 滴, 正压力恒定为 400 N。摩擦系数 f 为摩擦力与法向载荷之比, 体积磨损 R_v 为磨损量与摩擦距离之比。

各种汽缸和活塞环材料的化学成分见表 1。汽缸材料试样在汽缸浇铸的同时浇铸样棒获得, 活塞环材料试样来自活塞环成品。

表 1 不同材料的化学成分

Table 1 The composition of different materials

Material	C	Si	Mn	P	S	Alloying elements
HT300 (A_1)	2.8~3.2	1.3~1.7	0.8~1.1	<0.2	<0.12	—
P-Cr-Mo cast iron (A_2)	3.1~3.4	2.2~2.6	0.5~0.8	0.55~0.80	≤ 0.1	Mo:0.25, Cr:0.45
Mo-Cr-Cu cast iron (B_1)	2.8~3.2	1.6~2.0	0.9~1.3	0.25~0.40	≤ 0.1	Cu:0.9, Mo:0.45, Cr:0.5
W-V-Ti cast iron (B_2)	3.6~3.9	2.2~2.5	0.6~1.0	0.3~0.6	≤ 0.1	Ti:0.1, W:0.3, V:0.15

3 试验结果分析

3.1 显微硬度测试结果

激光相变硬化处理前后的材料表面硬度值见表 2。从表 2 可以看出, 普通灰铁的硬度最低。根据不同硬度值之间的大致换算, 可以看出所有试验材料经过激光相变硬化后表面硬度都有较大幅度的提高。

表 2 激光处理前后不同材料的硬度值测试结果

Table 2 The hardness of different materials before and after laser quenching

Material	Hardness as cast	Hardness by laser hardening
HT300 (A_1)	HBS 200~240	HV _{0.1} 550~680
P-Cr-Mo cast iron (A_2)	HBS 240~280	HV _{0.1} 730~860
Mo-Cr-Cu cast iron (B_1)	HRB 96~107	HV _{0.1} 610~720
W-V-Ti cast iron (B_2)	HRB 100~102	HV _{0.1} 680~890

3.2 成组匹配磨损试验结果分析

配对摩擦副的摩擦系数试验结果见图 1。从中可见经过 60~90 min 的磨合时间, 摩擦系数均趋于稳定。不同材料配对的摩擦副达到稳定状态的时间有所不同, 且有不同的摩擦系数稳定值。到达稳定状态后, 激光相变硬化后的普通灰铁缸与钨钒钛铸铁环的配对摩擦系数最大, 摩擦系数 f_{\max} 为 0.107, 激光相变硬化后的磷铬钼缸与钼铬铜铸铁环的配对的摩擦系数最小, 摩擦系数 f_{\min} 为 0.096。 f_{\max} 与 f_{\min} 相差 11%。汽缸材料中 P 元素的减摩作用比较明显。

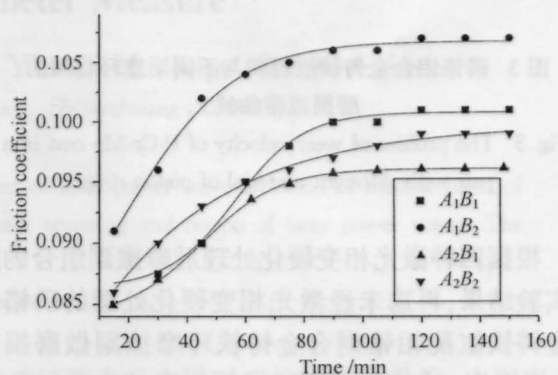


图 1 不同摩擦副的摩擦系数试验曲线

Fig. 1 The profile of friction coefficient of different pairs of cylinder and piston ring

图 2、图 3 为配对磨损中单位时间内配对摩擦副的总质量损失(磨损率 R_v)。可见磨合期材料的磨损速度明显较大, 不同摩擦副的磨损速度显著地不同。达到稳定状态后, 激光处理的配对摩擦副的磨损速度均保持在一个比较低的水平。结合图 1 和

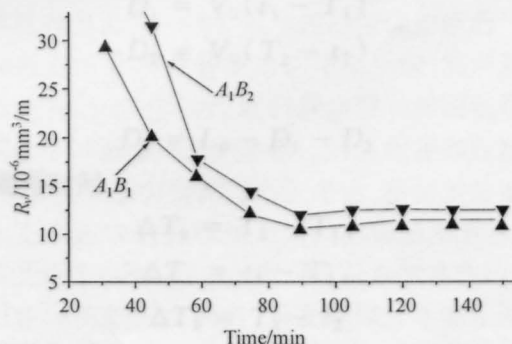


图 2 普通灰口铸铁汽缸材料与不同活塞环材料的磨损速率曲线

Fig. 2 The profiles of wear velocity of general cast irons cylinder pair with different piston rings

表 2, 可发现硬度最低的普通灰铁缸无论配何种环, 摩擦系数均较高, 磨损速率也大, 在与硬度较高的磷铬钼缸的配对中, 硬度较低的铬钼铜环反而比硬度与磷铬钼缸相近的钨钒钛环具有更小的磨损速率和摩擦系数。在本研究中, 经激光相变硬化后的气环与汽缸的最佳匹配为磷铬钼缸与铬钼铜环的匹配。

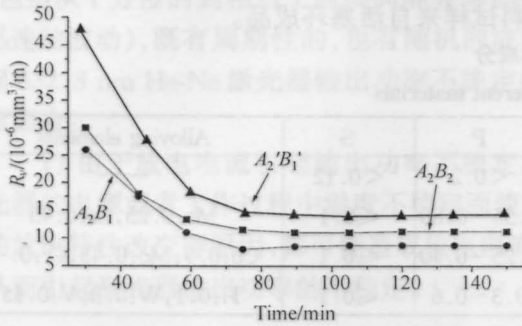


图 3 磷铬钼合金铸铁缸材料与不同活塞环材料的磨损速率曲线

Fig.3 The profiles of wear velocity of P-Cr-Mo cast iron pair with different material of piston rings

根据四种激光相变硬化处理后摩擦副组合的磨损实验结果, 再选未经激光相变硬化处理的磷铬钼合金铸铁缸配钼铬铜合金铸铁环摩擦副做磨损试验, 标记为 $A_2'-B_1'$ 。将图 3 中 A_2-B_1 与 $A_2'-B_1'$ 进行比较, 发现该种匹配经过激光相变硬化后的磨损速度降为原来的 54%, 可见激光相变硬化使摩擦副

的耐磨性能得到了十分明显的提高。

4 结 论

激光相变硬化工艺可以明显提高灰口铸铁以及合金铸铁材料各自的表面硬度。但研究表明并不是硬度高的材料匹配得到最好的耐磨性, 本研究体系中, 激光相变硬化后的磷铬钼缸与钼铬铜铸铁环的配对具有最小的摩擦系数和最小的磨损速率, 摩擦系数为 0.096。该匹配的磨损速率为激光硬化前的 54%。表明在合适的激光相变工艺条件下, 激光相变硬化能明显提高汽缸与活塞环摩擦副材料的耐磨性。

参 考 文 献

- 1 Yang Minghua. The laser phase transformation hardening of nodular cast iron. *Locomotive Technology* (机车车辆工艺), 1998, (4): 13~14, 4 (in Chinese)
- 2 Liu Ning, Zhu Mingdong. Research of residual stress of laser phase transformation hardening layer of steel and cast iron. *The Chinese J. Mechanical Eng.* (机械工程学报), 1994, 30(4): 108~114 (in Chinese)
- 3 Ren Enyang, Chen Tieli. The choice of process parameters of laser phase transformation hardening. *Laser Technology* (激光技术), 1997, 21(4): 210~214 (in Chinese)
- 4 Xu Jiujun, Wang Peng. Simulated wear experimental research of pair of cylinder and piston ring. *The Journal of Marine University of Dalian* (大连海事大学学报), 1999, 25(1): 88~91 (in Chinese)