

气缸套和活塞环早期失效原因分析

吴惠贞 吴洛平

(精密机械工程系)

摘 要

本文解剖分析了汽车发动机中气缸套和活塞环早期失效的原因,是气缸套中磷共晶组织网状分布和石墨分布的不均匀,表面有擦伤,犁沟,剥落;活塞环镀铬层有裂纹和块状剥落。剥落碎片使得气缸套和活塞环之间引起磨粒磨损,形成了在滑动条件下的擦伤磨损和磨粒磨损共存状态,使磨损率显著增加。

关键词 气缸套, 活塞环, 失效分析

一、早期失效的气缸套解剖分析

1. 失效部位的形貌

图版I 1为气缸套和活塞环的实物照片。经外观观察气缸套的内壁与第一活塞环接触的工作部位磨损较严重,表面粗糙。应用扫描电镜观察,发现该处有明显的擦伤痕迹,有硬物切削、滚滑过的一道道深浅不一的犁沟;表层材料裂纹扩展形成粒状、块状剥离,产生明显的剥落坑(图版I 2、3)。

2. 金相组织

同时解剖了正常与不正常工作的多只气缸套进行对比。

(1) 磷共晶分布:正常工作的1#气缸套和早期失效的2#气缸套其磷共晶组织分布如图版I 4所示,经深浸蚀后基体组织变黑,使磷共晶的分布形态清晰显示。1#气缸套的磷共晶比较均匀,成断续网状分布。2#气缸套的磷共晶有局部偏聚分布不均现象。

(2) 基体组织:均为珠光体加石墨加极少量铁素体(图版I 5)。

(3) 石墨分布:根据我国JB2264-78,灰铸铁金相标准1#气缸套为小片状。大部分为A型石墨,其间夹有部分枝晶状D型石墨,A型石墨长度相当于1-2#,D型石墨相当于1#、2#气缸套石墨分布为F型和C型,石墨长度相当于2-3#,存在局部分布不均现象(图版II 6)。

3. 分析结果讨论

本文1988年7月19日收到。

气缸套和活塞环是汽车发动机中的重要零件。气缸套的内壁用来引导活塞作往复直线运动,它承受燃烧气体的高温、高压和活塞侧压力的作用,润滑条件很差。因此要求气缸套有足够的强度、耐高温、耐磨,有一定的精度和光洁度,使之与活塞环严密配合,防止漏气。经检验,该气缸套材料为高磷铸铁,成分中的磷化铁与铁素体或珠光体会形成磷共晶($F + Fe_3P$, $P + Fe_3P$ 或 $F + P + Fe_3P$)。磷共晶硬度高于珠光体基体。使用过程中,磷共晶与珠光体间产生磨损差,磷共晶成为滑动的支承面,并直接与活塞环接触,是承受载荷的表面,应具有较好的抗咬合和耐磨性能。珠光体有极细微的凹陷部分,能贮存润滑油,使缸套的耐磨性大为提高。石墨是一种优良的干型润滑剂,且石墨凹穴处可贮存润滑油,有利油膜的恢复。

1*气缸套的金相组织是磷共晶组织呈断续网状分布,是高硬度的组成物,具有较高的耐磨性能。较均匀的石墨分布使石墨片的润滑作用较均匀,对气缸套的耐磨性起良好作用。而基体组织均为珠光体基体加石墨加极少量铁素体,符合气缸套工作情况要求,在正常服役条件下磨损不很明显。2*气缸套基体组织虽然与1*相似,但其磷共晶组织的分布有局部集中现象,分布不均匀,且有部分石墨偏聚,对磨损性能有一定影响。

扫描电镜对气缸套内表面磨损型貌的观察证实,滑动摩擦接触表面的磨损,是形成与对磨零件滑动方向一致的切削痕迹。可以认为,在磨损过程中,对磨零件活塞环高硬度的镀铬层,被摩擦而产生龟裂、剥落,致磨件间成为磨粒磨损的形式。形成的碎屑在正应力作用下深入气缸套的表面,并形成擦伤、犁沟,使表面分布着无数斑点状浅坑,甚至产生剥落现象。

二、早期失效的活塞环解剖分析

1. 取样

在活塞环切口左右30°范围内取样。该处磨损较严重,试样制备后进行金相和扫描电镜观察,并测其显微硬度值。

2. 金相组织与显微硬度

(1) 镀铬层:切取活塞环样品多个,其中3*为使用正常,4—7*为早期失效的活塞环。经金相检验,3*活塞环的镀铬层完整无缺,与基体组织结合比较牢固,最表层部位也未见缺损。4—7*活塞环的镀铬层则存在严重缺陷,(图版Ⅱ7),图中白色层为镀铬层,内层为基体组织。由图版Ⅱ7a可见,镀铬表层已剥离缺损,形成厚度不均、断续脱落的不完整表面层,局部区域形成凹坑,还发现有裂纹。裂纹与镀铬层表面垂直,向镀铬层与基体组织交界的方向延伸发展。

镀铬层的外表面结构,如图版Ⅱ8、9为活塞环和气缸套接触的工作部位的扫描电镜照片,可见活塞环镀铬层表面有划伤痕迹,沿着与气缸套摩擦滑动的方向形成沟槽。表面存在龟裂与剥落情况,图中剥落坑清晰显现。

镀铬层的硬度检查,是在Neophot-21型金相显微镜中的哈纳门(Heneman)型显微硬度计上测量。试样需经精心抛光,显微硬度值如表1所列。

表1

活塞环编号	显微硬度值	HV0.05	平均值HV0.05
3	840.6	1083.7	700.8
4	882.7	700.8	643.6
5	1027.4	832.7	548.6
6	975.4	975.4	975.4
7	927.2	1027.4	927.6

(2) 基体组织: 3~7*活塞环材料为球墨铸铁。石墨形态大部分为球状, 也有部分为团状与厚片状。基体组织相似, 均为珠光体加极少量铁素体(图版Ⅱ10)。

3. 分析结果讨论

活塞环按功能分为密封环(又称分环或压缩环)和刮油环(又称油环)。密封环起保证活塞与气缸壁的密封作用, 并将活塞上部的热量传给气缸壁, 经由冷却水或空气带走。刮油环是用来刮除气缸壁上多余的润滑油, 并使润滑油在气缸壁上分布均匀, 改善气缸与活塞的润滑条件。实质上, 活塞环不仅起到气密与控制润滑油的作用, 而且还起支承和散热作用。由于活塞环处在高温、高压、高速以及润滑不良的条件下工作, 尤其是第一道气环的工作条件更为苛刻。活塞环应在高温下具有足够的热弹性, 使环的外圆柱面紧压在气缸壁上, 否则活塞环就不能正常地工作, 使发动机的效率大大降低。所以, 活塞环的材料一般采用耐磨、耐热的优质铸铁或合金铸铁, 也有采用球墨铸铁制造。活塞环的组织, 基本上由珠光体、非常细小的石墨夹杂、磷化物共晶体和极少量铁素体所组成。对于条件最差的气环, 为了改善表面的使用性能, 工作表面一般都进行镀铬。镀铬层耐磨性好, 镀铬技术又是比较成熟的表面处理工艺, 但镀铬层质量如果不合乎要求, 如出现裂纹、剥落、硬度不足等情况, 则会严重影响其使用性能。活塞环的上述服役条件, 只有性能符合要求的材料与工艺才能使其正常用。

比较3~7*活塞环, 其基体组织与石墨成分基本相似, 均为球墨铸铁。从镀铬层显微硬度的测定数值看, 其硬度值比较相近, 但早期失效的活塞环, 镀铬层出现了龟裂现象, 裂纹比较严重的区域容易引起应力集中, 促使裂纹扩展, 导致局部剥落。4~7*活塞环的表面, 镀铬层剥落严重, 剥落碎片留在气缸套内, 使得气缸套与活塞环间形成磨粒磨损, 在滑动条件下的出现了滑动擦伤磨损和磨粒磨损共存状态, 质量差的镀铬层会加速剥落过程, 加剧磨粒磨损。此外, 一部分镀铬层剥落碎片嵌入气缸套的表面, 能起切削刃的作用划伤气缸内壁, 促使气缸套与活塞环的磨损过程, 是导致气缸套与活塞环发生早期失效的原因。

三、小 结

1. 气缸套和活塞环这对摩擦付, 在其服役条件下能正常地工作的要求是: 活塞环应具有高的热弹性、耐磨性, 气缸套应有足够的强度、耐高温、耐磨, 有一定的精度和光洁

度;气缸套和活塞环要严密配合,防止漏气、漏油现象。

2. 活塞环镀铬层质量不符合要求,出现麻点、龟裂、剥落,在气缸套和活塞环间形成滑动擦伤磨损与磨粒磨损复合的形式,磨损率显著增高。这是造成该批气缸套和活塞环早期失效的主要原因。

3. 气缸套的组织中,磷共晶网状分布和石墨分布都不均匀,使部分地区耐磨性降低。加上受活塞环镀铬层剥落的碎粒磨擦,使气缸表面擦伤,形成犁沟、剥落坑,更促进了不正常损坏,引起该批气缸套和活塞环的早期失效

参 考 文 献

- [1] 李炯辉、施友方、高汉文编著,钢铁材料金相图谱,上海科学技术出版社, (1981)。
- [2] 西安公路学院编,拖拉机汽车,人民交通出版社, (1981)。
- [3] 中华人民共和国第一机械工业部标准,灰铸铁金相标准, JB2264-78, 北京, (1979)。
- [4] 黄声显等编,重型汽车构造与维修,人民交通出版社, (1981)。
- [5] Brick, R.M., Pense, A.w.and Gordom, R.B., *Structure and Properties of Engineering Materials*, International Student Edition, (1977)。
- [6] Eyre, T.S., Dent, N.and Dale, P., *Lubrication Engineering*, 39, 4 (1983), 216-221。
- [7] Anderson, J.C., Leaver, K.D., Alexander, J. M. and Rawlings, R.D., *Materials Science*, The English Language Book Society, (1982)。

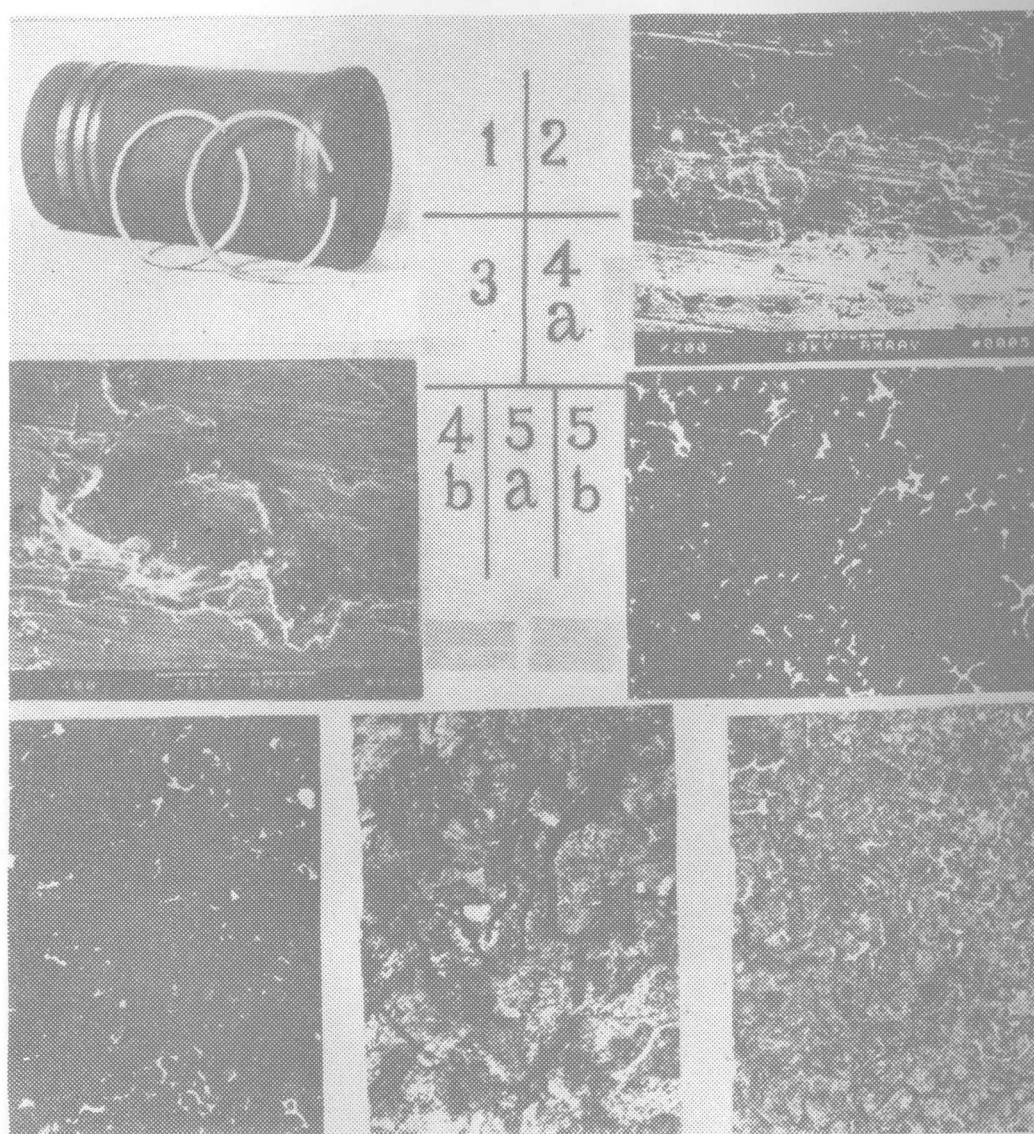
Analysis on Early Failure of Cylinder Liner and Piston Ring

Wu Hui zhen Wu Lu ping

Abstract

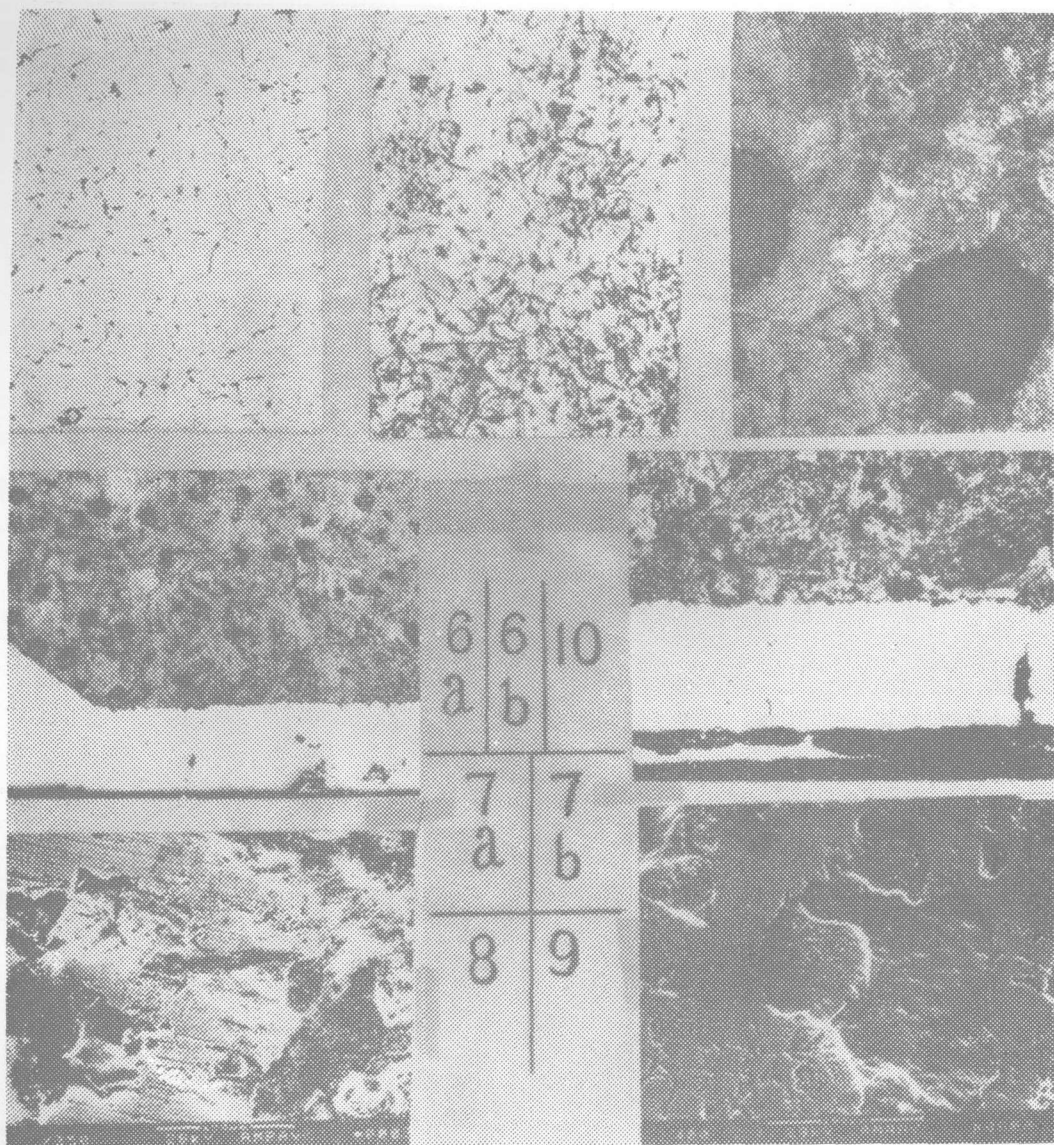
This paper deals with analysis on early failure of cylinder liner and piston ring in some automobile engines. In relation to the contributing factors, the following facts came into our notice. There appear in the cylinder liner the unevenly distribution of phosphor eutectic networks, with scuffings, plow grooves, and peelings off on the surface of these cylinder liners. There appear cracks and chunk peelings in the chrome-plated layer of these piston rings. It is suggested that these peeling off fragments cause the wearing of abrasive grains between the cylinder liner and piston ring. The resulting coexistence of scuffing wear and abrasive wear leads to significant increase of the rate of wear. This may be accounted for the early failure of these cylinder liners and piston rings.

Key words cylinder liners, piston rings, Failure analysis



图版 I 说明

1. 气缸套和活塞环；
2. 气缸套内表面磨损情况；
3. 气缸套内表面产生犁沟、剥落坑；
4. 气缸套磷共晶分布：4 A—1 #100X；4 B—2 #100X；
5. 气缸套基本组织：5 A 1 #400X；5 B—2 #100X。



图版 II 说明

6. 气缸套石墨分布：6 A—1 # 100X；6 B—2 # 100X；
 7. 活塞环镀铬层：7 A—100X；7 B—200；
 8. 活塞环镀铬层龟裂与剥落；
 9. 活塞环镀铬层剥落坑；
 10. 活塞环显微组织400X。