

发动机气门-门座磨损失效机理实验研究*

赵运才¹, 李颂文¹, 刘竞生²

(1 湘潭工学院 机械工程系, 湖南 湘潭 411201;

2 武汉汽车工业大学 摩擦学研究所, 湖北 武汉 430076)

摘要: 对发动机气门-门座的磨损失效进行了模拟实验研究, 基于现代微观表面测试技术和摩擦学原理对气门-门座的磨损机理进行了探讨. 研究结果表明: 气门-门座接触表面的磨损失效是由于反复的弹、塑变形疲劳, 亚表层的金属滑动、基体材料在高温下的蠕变滑动和腐蚀磨损等所致, 这种失效呈片状疲劳裂纹和剥落特征

关键词: 发动机; 气门-门座; 磨损机理; 磨损失效

中图分类号: TK413 44

文章标识码: A

文章编号: 1004-0595(2000)05-0386-03

目前, 我国的汽车尤其是载重汽车的运行寿命、可靠性(故障率)与先进国家产品相比均有相当差距, 其中主要问题是发动机及其主要摩擦副的耐磨寿命较低. 发动机气门-门座摩擦副是发动机的主要摩擦副之一, 它是一种机械动作的阀门, 用以在发动机的工作过程中适时地开启和关闭进气道和排气道, 控制新鲜充量(燃料混合气或空气)的进入和废气的排出^[1]. 气门-门座摩擦副在实际运行中的工况条件极为恶劣, 其磨损和损坏直接影响发动机的输出功率、工作性能和服役寿命^[2]. 因此, 针对气门-门座摩擦副在恶劣工况条件下的摩擦学特性的研究越来越受到重视. 本文作者研究了气门磨损失效过程及其摩擦

磨损特性, 期望为高性能气门材料研制及制造工艺研究提供实验依据

1 试验部分

1.1 试验材料

气门试样系二汽 EQ 140 发动机配套气门, 气门头部采用 21-4N 合金钢, 杆部采用 4Cr9Si2 合金钢, 试样在 1 040 ℃ 下进行调质处理, 锥面硬度处于 38~44HRC.

门座试样系二汽 EQ 140 发动机配套门座, 材料为高 CrMo 合金铸铁, 经 350~370 ℃ 退火处理后硬度处于 32~36HRC. 试验材料的化学成分见表 1.

表 1 试验材料的化学成分

Table 1 Chemical composition of tested materials

Material	Chemical composition /%								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	N	P	S
21-4N	0.52	0.30	9.20	20.80	-	3.90	0.43	0.03	0.03
4Cr9Si2	0.41	2.56	0.31	8.42	-	-	-	< 0.01	< 0.01
CrMo alloy	1.98	1.12	0.45	13.23	2.11	0.43	-	< 0.05	< 0.05

1.2 试验装置

采用武汉汽车工业大学研制的气门-门座双头强化磨损模拟试验机. 该机装有高温加热系统和腐蚀气氛系统, 可在不同冲击载荷作用下进行不同温度和不同腐蚀介质的气门-门座强化模拟试验, 其工作原理如图 1 所示. 采用湘仪天平仪器厂生产的 TG328A

型光学读数分析天平测定试样的磨损质量损失, 其分度值为 0.1mg. 用 KYKY-2800 型扫描电子显微镜观察试样磨损表面形貌并分析其磨损机理. 根据发动机的实际工况, 选择气门磨损失效试验条件为载荷 700N 和 1 000N, 温度 750 ℃, 冲击频率每分钟 850 次; 摩擦方式为干摩擦, 腐蚀气氛为 1:3 的柴油和汽

* 国家自然科学基金资助项目(59875057).

1999-11-23 收到初稿, 2000-03-18 收到修改稿/联系人赵运才.

赵运才 男, 37 岁, 博士研究生, 讲师, 目前从事耐磨材料及工艺研究.

油混合气,工作压力为 40 Pa

2 结果与分析

2.1 磨损性能

分别在 700 N 和 1000 N 载荷下对气门-门座摩

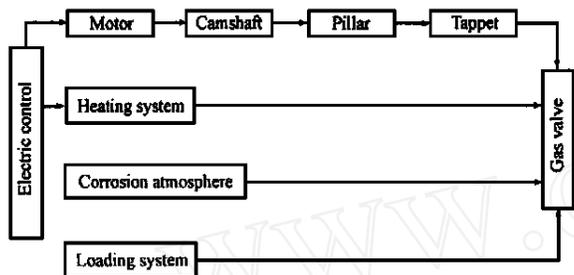


Fig 1 Schematic of the simulation tester of enhanced wear of engine valve

图 1 发动机气门强化磨损模拟试验机系统原理图

擦副进行试验,每隔 5 h 停机测量气门磨损质量损失,结果如图 2 所示 在跑合磨损阶段,由于试验温度

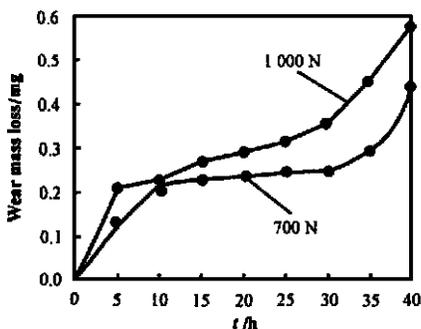


Fig 2 Varying curves between wear amount and pounding time

图 2 气门磨损量与冲击时间的变化曲线

较高,气门表层材料在冲击交变载荷作用下强度和硬度有所下降,气门接触锥面的塑性变形和流动加速,相应的磨损质量损失随试验时间的延长而急剧增大;随着冲击次数的增加,表面粗糙度减小^[3],气门实际接触面积增大,此时达到稳定磨损阶段,磨损质量损失随试验时间的延长变化不大;当强化磨损时间达到 32.5 h(冲击次数大约为 165.75×10^4)时,反复的弹塑变形使得气门的表层位错集中和增加^[4],同时高温和腐蚀气氛对气门的破坏作用增强,此时气门的磨损速率明显加快,进入剧烈磨损阶段 此外,在较高载荷下,气门的稳态磨损过程明显较短,显示载荷对其磨损性能具有重要的影响

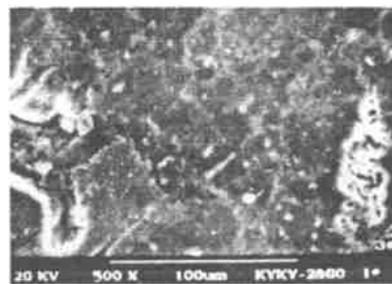
2.2 磨损失效机理

气门的破坏形式主要是高温冲击疲劳破坏,表现

为气门表面出现点蚀和剥落 在冲击交变载荷作用下^[5],气门表面上较硬的微突点发生变形,反复挤压导致其附近软表面产生塑性流动并在气门表面积累^[6] 由于气门工作温度较高,材料表层进一步软化,导致塑变区内出现波浪式塑性流动和位错密度增大^[7],反复的弹塑变形使位错进一步集中,继而在表层引发横向微裂纹 图 3 示出了气门的典型磨损表面



(a) Plastic deformation and spall



(b) Crack near non-metallic impurities

Fig 3 SEM morphologies of the worn surface of engine valve

图 3 发动机气门磨损表面形貌 SEM 照片

形貌 SEM 照片.可以看出,气门磨损失效后其摩擦锥面呈明显的塑性流动和剥落特征,同时非金属夹杂物附近形成了微裂纹 这同文献[5~ 7]的报道相一致 裂纹源主要产生在晶体滑移和晶体缺陷处 气门在强大的冲击载荷作用下,金属表面产生不同程度的滑移带,由于滑移带不均匀,呈滑移局部集中特征,在气门表面形成挤出与凹入,在挤出与凹入处应力集中,经过应力多次交变后,在该处将形成裂纹源 当气门材质出现成分偏析或在其晶界上存在低熔点夹杂物和脆性夹杂物时,这些夹杂物将会破坏金属的连续性,并起应力峰的作用^[8] 位错在运动过程中遇到这些晶界障碍时将在塞积处产生应力集中,当应力峰值超过晶界结合强度时即引发微裂纹形成 在脆性非金属夹杂物附近出现的应力集中区呈黑色,如图 3(b)所示 随着冲击频数的增加,微裂纹不断扩展、长大,同时气门裂纹面在高温下将发生氧化并生成脆性氧化物,淤塞的氧化物起着楔子作用,在裂纹尖端处产生附加应力,从而加速裂纹的扩展

另一方面,在特定的条件下微裂纹可能停止扩展^[9]。事实上,当法向载荷作用于气门表面时,若将偶件(门座)表面微突体近似视作硬质点,则在弹性接触区气门锥面受到的压应力作用不可忽视。在压应力作用下,缺口根部的裂纹扩展到一定程度后可能趋于停止扩展,甚至因出现“微焊”而使微裂纹消失。我们在试验中还观察到材料在蠕变滑移过程中因热疲劳和高温而致的“韧窝”现象,并在近似垂直于表面方向形成热疲劳裂纹,如图 4 所示。这类细微的表面裂纹破

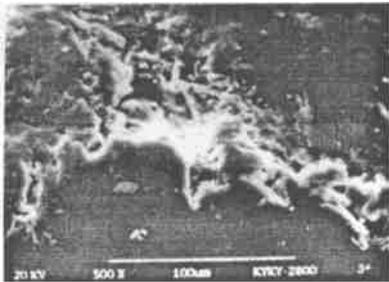


Fig 4 “Tenacity nest” near the fatigue region in worn surface of valve

图 4 气门磨损表面疲劳区附近形成的“韧窝”

坏了表层材料与基体的联系,从而加快疲劳剥落,而新鲜基体的不断暴露又将进一步扩大金属的疲劳破坏,最终导致气门接触锥面的磨损失效。因此气门-门座接触表面的磨损失效是由于反复的弹、塑变形疲劳,亚表层的金属滑动、基体材料在高温下的蠕变滑动和腐蚀磨损等所致,这种失效呈片状疲劳裂纹和剥落特征。因此,提高气门表面层在高温下的综合性能对提高发动机的可靠性和服役寿命极为重要。

3 结论

a 发动机气门的磨损可分为跑合磨损、稳态磨损和剧烈磨损 3 个阶段,在较高载荷下其稳态磨损过程较短。

b 气门-门座接触表面的磨损失效是由于反复的弹、塑变形疲劳,亚表层的金属滑动、基体材料在高温下的蠕变滑动和腐蚀磨损等所致。

c 气门磨损失效后其摩擦锥面呈明显的塑性流动和剥落特征,同时,在非金属夹杂物附近形成微裂纹,裂纹源主要产生在晶体滑移和晶体缺陷处。

参考文献:

- [1] 贾锡印. 内燃机润滑与磨损[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992, 35~ 55.
- [2] 赵运才. 发动机气门-门座磨损特性实验研究[D]. 武汉: 武汉汽车工业大学摩擦学研究所, 1992.
- [3] 屈晓斌, 陈建敏, 周惠娣, 等. 材料的磨损失效及其预防研究现状与发展趋势[J]. 摩擦学学报, 1999, 19(2): 187~ 192.
- [4] Nagi H, Endo H, Nakamccra H, *et al*. Soot and valve train wear in passenger car diesel engines[C]. SAE Tech Paper Series No. 831737, 1983, 55~ 77.
- [5] 赵运才, 高彩云, 刘竞生. 发动机气阀高温蠕变/疲劳失效试验研究[J]. 湘潭工学院学报, 1999, 14 (2): 66~ 69.
- [6] 杨业元, 方鸿生, 郑燕康, 等. 碳钢的高压力冲击磨损行为研究[J]. 摩擦学学报, 1996, 16 (2): 120~ 124.
- [7] Baidw in B A. Effect of temperature on simulated valve train wear[J]. ASLE Trans, 1983, 10: 123~ 129.
- [8] 赵会友, 陈华辉, 邵荷生, 等. 几种钢的磨损冲蚀磨损行为与机理研究[J]. 摩擦学学报, 1996, 16 (2): 112~ 119.
- [9] 王栓柱. 金属疲劳[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991, 23~ 42.

Experimental Study on Wear Failure of Gas-valve/Valve-seat in Engine

ZHAO Yun-cai¹, LI Song-wen¹, LU Jing-sheng²

(1. Department of Mechanical Engineering, Xiangtan College of Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Tribology Research Institute, Wuhan University of Automobile Technology, Wuhan 430076, China)

Abstract: The wear failure of the gas-valve/valve-seat in engine has been investigated with a simulating tester. The wear mechanisms of the valve seat have been examined based on the observation of the worn surface morphologies of the valve seat by means of scanning electron microscopy. As the results, the failure of the contact surface of gas-valve/valve-seat is characteristic of elastic/plastic deformation and fatigue cracking and spalling. The creep-sliding and atmospheric corrosion enhance the wear of the valve seat at high temperature.

Key words: engine; gas valve-valve seat; wear mechanism; wear failure