

结构与可靠性

缸盖水套开裂分析及优化

温拾平, 马 超, 高维进, 刘 勇, 石 勇

(江铃汽车股份有限公司, 江西 南昌 330001)

摘 要: 针对某型增压柴油机缸盖水套开裂问题, 通过断口、能谱、金相分析以及常规机械性能测试, 结合失效区域的工作条件, 得出疲劳开裂为热负荷与机械负荷共同作用导致的结论。在此基础上提出了改善水套流量分布, 增加楔形加强筋的改进方案。有限元分析表明: 改进后的缸盖疲劳安全系数提高了 10%。优化后的缸盖已成功应用于该型国四、国五发动机上。

关键词: 缸盖水套; 开裂; 优化

中图分类号: TK423.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2018)04-0021-04

Analysis and Optimization of the Cracking Cylinder Head Water Jacket

Wen Shiping, Ma Chao, Gao Weijin, Liu Yong, Shi Yong

(Jiangling Motors Co., Ltd., Jiangxi Nanchang, 330001)

Abstract: To solve the cracking problem of a certain type of cylinder head water jacket of a turbocharged diesel engine, through fracture, energy spectrum, metallographic analysis and conventional mechanical performance test, combined with the work conditions of the failure area, the conclusion that the cracking was caused by both the thermal load and the mechanical load were obtained. The improvement solution including the flow distribution optimization of the water jacket and increasing the wedge reinforcement was put forward. The finite element analysis show that the fatigue safety factor of the optimized cylinder head is increased by 10%, and has already applied on the china IV and V engine successfully.

Key words: cylinder head water jacket; cracking; optimization

0 引 言

某型增压柴油发动机^[1-2]完成 1 000 h 动态循环试验后, 气密性测试发现缸盖水道漏气。剖切检测发现: 缸盖第三缸排气道与水套间开裂, 裂纹贯穿水道与排气道, 如图 1、图 2 所示。该型缸盖材料为 A356.2, 采用重力浇铸^[3-5]和 T64 热处理工艺^[6-7]; 双层水道设计, 下层水道主要冷却缸盖火力面区域, 上层水套主要冷却缸盖排气道。本次裂纹位于缸盖第三缸排气道与上水套间。

1 裂纹分析

1.1 断口分析

(1) 断口裂纹始于水套表面, 如图 3 所示。裂

纹源处未发现裂纹、夹杂、铸造孔洞等原始铸造缺陷。裂纹源处断口主要为准解理和撕裂棱混合断口特征, 存在典型疲劳贝纹线, 如图 4~5 所示。

(2) 芯部断口主要呈现准解理和撕裂棱混合断口特征, 以准解理断口为主, 存在典型疲劳贝纹线, 疲劳扩展区域占整个断口 90% 以上, 属高周疲劳开裂形式, 如图 6~7 所示。

1.2 能谱分析

对断口表面物质进行能谱分析, 结果如表 1 所示。断口表面主要为氧化产物, 为开裂后高温环境下氧化所致。

1.3 金相分析

样品表面未发现点蚀、晶间腐蚀等腐蚀现象。裂纹源处、裂纹扩展区域金相组织为 α (Al) 枝晶

收稿日期: 2017-12-06

作者简介: 温拾平(1989-), 男, 主要研究方向为内燃机结构设计, swen2@jmc.com.cn。

和点状或短杆状共晶硅, 共晶硅分布较为理想, 组织级别为 2 级; 鱼骨状夹杂不明显, 级别为 1 级; 针状夹杂不明显, 级别为 1 级; 次表层存在少量铸造孔洞, 如图 8~9 所示。



图 1 初始裂纹形态

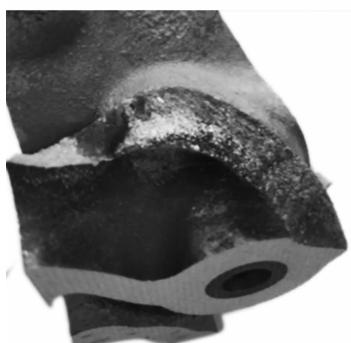


图 2 裂纹打开形态

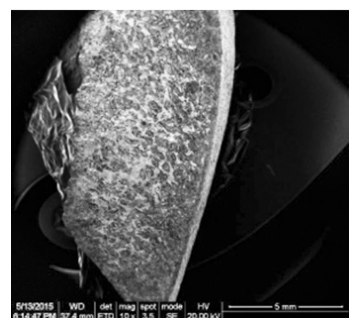


图 3 断口形貌 (10 ×)

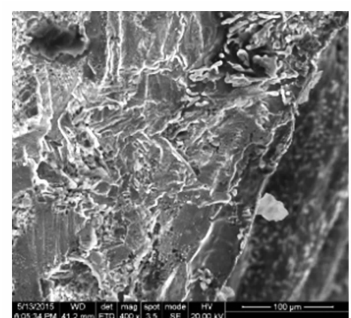


图 4 裂纹源形貌 (400 ×)

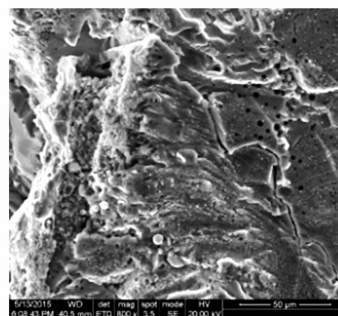


图 5 裂纹源形貌 (800 ×)

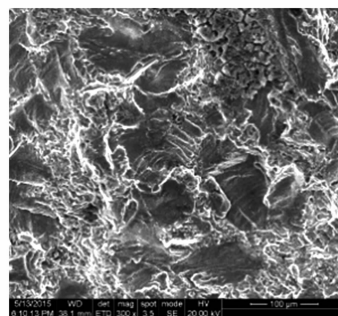


图 6 芯部断口形貌 (300 ×)

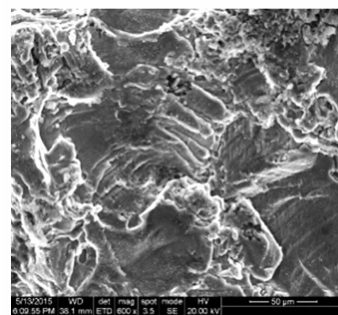


图 7 芯部断口形貌 (600 ×)

表 1 能谱分析元素质量分数

谱图	O	Al	Si	P	K	Ca	Fe	Zn
谱图 1	32.32%	10.81%	37.56%	2.86%	1.16%	1.08%	11.67%	2.54%
谱图 2	39.5%	6.64%	20.5%	4.36%	1.48%	1.84%	22.55%	3.12%
谱图 3	36.31%	17.27%	26.53%	3.9%	1.56%	2.11%	10.04%	2.28%

1.4 常规机械性能检测

对失效缸盖取样做机械性能检测, 结果如表 2 所示, 满足缸盖使用要求。

表 2 常规机械性能

性能项	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率	硬度/ HB	火力面 SDAS/ μm
试样一	329.95	303.07	2.33%	115	33
试样二	320.01	306.82	2.57%	116	31
试样二	318.68	306.43	2.29%	115	29

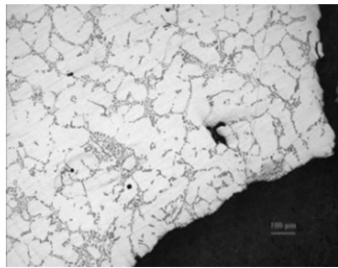


图 8 裂纹源处金相组织 (100 ×)

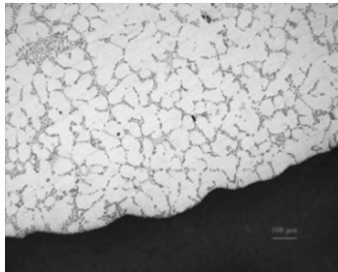


图 9 裂纹扩展区域金相 (100 ×)

1.5 小结

断口主要呈现准解理断口特征，存在疲劳贝纹线，为典型疲劳开裂。开裂区域位于水道与气道之间，且靠近缸盖螺栓位置。开裂区域承受排气道高温气体带来的强大热负荷，壁厚传递来的缸内爆发压力的机械负荷以及缸盖螺栓力带来的拧紧力负荷。综合考虑缸盖的试验条件判断：由于热负荷与机械负荷耦合作用导致缸盖的排气道与水套间出现疲劳裂纹。

2 优化方案

为解决因热负荷与机械负荷交互作用导致的缸盖疲劳断裂问题，提出优化水套结构，提高失效区域结构强度的整改方案。

(1) 增大上、下层水套节流孔的尺寸，如图 10 所示，以改善上层水套的流量分布，强化失效区域冷却，抵抗排气道热负荷。

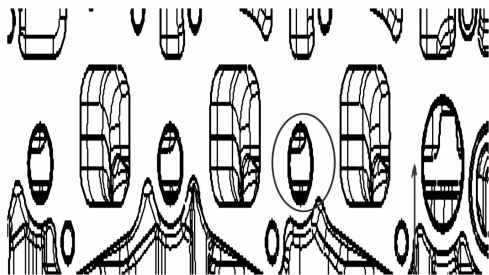


图 10 增大节流孔尺寸

(2) 设计楔形加强筋，如图 11 所示，以提高开裂部位的结构强度；同时可以减小水套流通面积，改善流通特性，提高流通速度。

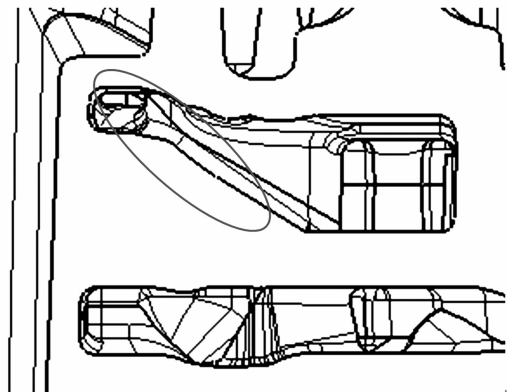


图 11 楔形加强筋

3 优化效果

(1) CFD 分析显示：与原设计方案相比，上层水套流量分布更均匀，失效区域不存在回流、紊流等不合理流动，如图 12 所示。

(2) 有限元分析显示：与原设计方案相比，失效区域疲劳安全系数提高 10%，如图 13 所示。

(3) 重新做 1 000 h 动态循环耐久试验，优化后的缸盖气密性正常，剖切检测无裂纹。

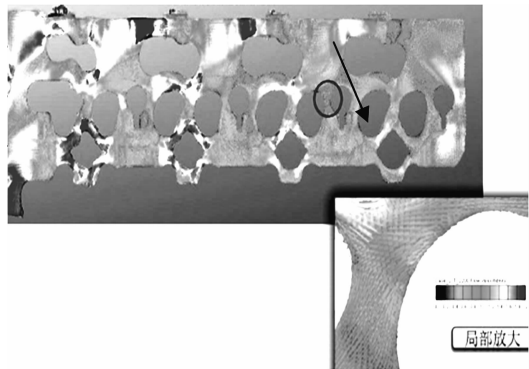


图 12 CFD 分析结果

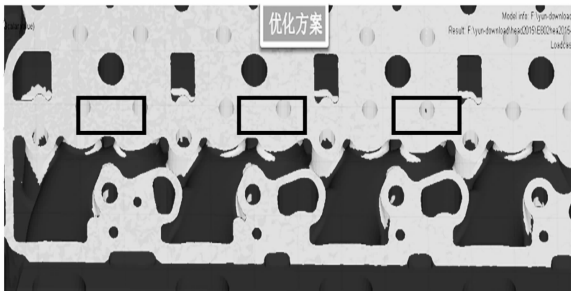


图 13 有限元分析结果

4 结束语

针对某型增压柴油发动机缸盖水套开裂问题,进行了断口、能谱、金相分析以及常规机械性能测试。测试分析表明:热负荷与机械负荷共同作用导致缸盖水套疲劳开裂。在此基础上提出了改善水套流量分布,增加楔形加强筋的改进方案。优化后的缸盖疲劳安全系数得到较大提高,通过一系列耐久试验后已成功应用于该型国四、国五机上。

参考文献

[1] 杨世友, 顾宏中, 郭中朝. 柴油机涡轮增压系统研究

现状与进展 [J]. 柴油机, 2001 (4): 1-5.

[2] 李昕光, 张爱国. 柴油机涡轮增压技术的发展现状及趋势 [J]. 黑龙江科技信息, 2008 (9): 14-14.

[3] 陈玉平, 史开旺. 铝合金铸件金属型重力铸造生产工艺 [J]. 铸造技术, 2010, 31 (10): 1364-1366.

[4] 徐凤舟, 杨浚涵. 铝缸盖重力铸造 [J]. 特种铸造及有色合金, 2000 (5): 46-47.

[5] 魏华胜. 铸造工程基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[6] 李念奎. 铝合金材料及其热处理技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012.

[7] 王琳. 铝合金热处理的原理及关键技术 [J]. 黑龙江科技信息, 2014 (10): 98-98.

(上接第 6 页)

参考文献

[1] International Maritime Organization. Annex VI of MARPOL 73/78 an NO_x technical code [S]. London: Conference of parties to the international convention for the prevention of pollution from ships, 2008.

[2] WIK C. Tier III technology development and influence on ship installation and operation [C]. CIMAC, 2013, Paper NO. 159.

[3] 李文祥, 葛蕴珊, 刘金玉, 等. 内部 EGR 在增压柴油机的应用研究 [J]. 内燃机工程, 2006, 37 (6): 43-46.

[4] 王迎迎. 大功率柴油机 EGR 模拟研究 [D]. 重庆: 西南交通大学, 2009.

[5] WIK C, LUNDIN K, RISTIMAKI J. EGR system for a 2-stage turbocharged medium-speed diesel engine and its influence on engine performance [C]. 17th Supercharging Conference, September, 2012, P. 93-108.

[6] WEISSER G, WIK C, DELNERI D. IMO Tier III——challenging task for the developers of large diesel engines [C]. 13. Tagung " DER ARBEITS-PROZESSDES VER-BRENNUNGSMOTORS, Graz, September, 2011.

[7] WIK C, HOYER K, MATT P, et al. 2-stage turbo charging on medium speed engines-results from the LERF-test facility

[C]. 16th Supercharging Conference, September, 2011, P. 9 -24.

[8] 陶一凯, 邓康耀, 王真, 等. 采用 EGR 技术降低低速机排放的三维仿真研究 [J]. 柴油机, 2015, 37 (3): 9-13.

[9] 魏宇坤, 安士杰, 张志友. EGR 率对船用柴油机中低负荷燃烧排放性能影响的仿真及试验研究 [J]. 柴油机, 2016, 38 (2): 11-15.

[10] 刘宏杰, 邓康耀, 王真, 等. EGR 技术降低低速二冲程柴油机 NO_x 排放的计算研究 [J]. 柴油机, 2016, 38 (3): 11-16.

[11] 胡必柱, 王峰, 张充睿, 等. 船用柴油机 EGR 技术仿真研究 [J]. 柴油机, 2013, 35 (2): 13-17.

[12] VIJAYAK V. Predictive diesel combustion using DI-pulse in GT-Power [D]. Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2015.

[13] GALLONE A, PIZZA S, RIMONDI M. Study and application of predictive Di-pulse model for diesel combustion in GT-Power [C]. GT-SUITE Conference Italiana, 2015.

[14] SARA S L. Gas exchange modeling of a single-cylinder engine [D]. Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2015.