

## 活塞激光热负荷试验技术

谭建松<sup>1,2</sup>, 庞 铭<sup>1</sup>, 王建平<sup>1</sup>, 吴 波<sup>1</sup>, 虞 钢<sup>2</sup>

(1.北方发动机研究所分所, 河北 廊坊 065000; 2.中科院力学研究所 先进制造重点实验室, 北京 100190)

**摘要:** 活塞是内燃机的高热负荷零部件, 能否有效地评估其热强度已成为制约研发高可靠性发动机的瓶颈因素之一。针对活塞实机工况热负荷损伤特点, 利用激光时空分布可控性特性, 设计了活塞激光热负荷试验平台。该系统能仿真受热构件特定的温度分布和波动, 评估受热构件的热强度, 为受热构件结构的优化、材料的选材提供指导。

**关键词:** 热负荷; 损伤; 激光; 活塞

**中图分类号:** TK401

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-2276(2009)增 D-0516-03

## Test technology of laser thermal loading for piston

TAN Jian-song<sup>1,2</sup>, PANG Ming<sup>1</sup>, WANG Jian-ping<sup>1</sup>, WU Bo<sup>1</sup>, YU Gang<sup>2</sup>

(1.Substation China North Engine Research Institute, Langfang 065000, China; 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 1000190, China)

**Abstract:** Piston is a part of diesel engine with high thermal loading. Accurate evaluation of thermal strength is a bottle-neck technology for piston with high reliability diesel engine. An experimental system of laser heat loading has been developed by controlling laser at the domain of time and space. Temperature fluctuating and distributing of thermal part can be simulated by laser heat loading system. These can fulfill the purpose of evaluation of thermal strength with the direction of structural Optimization and material selection.

**Key words:** Thermal loading; Damage; Laser; Piston

### 0 引言

活塞是发动机的关键零部件, 在燃烧室承受燃气周期性的热冲击, 承受高的热负荷值。随高功率、高紧凑发动机的发展趋势, 活塞承受的热负荷将增加。有效的评价活塞的热负荷对于活塞结构的优化和提高发动机的可靠性具有重要意义。目前对活塞热负荷的研究方法有整机试验、零部件热模拟系统和数值仿真方法。整机试验周期长、成本高; 零部件热模拟系统具有经济、方便和快捷的特点; 数值仿真方法对于

发动机处于概念设计阶段, 通过该方法对于零部件材料和结构的优化有一定的指导作用, 但很难准确的反应实际构件热损伤机理<sup>[1-4]</sup>。

目前国内外公开文献报道的活塞热负荷零部件仿真方法有燃气加热、高频感应加热、石英灯加热、红外加热等方法, 但这些方法都不能有效地模拟活塞温度分布和波动, 由于目前热模拟系统的不足, 中国北方发动机研究所首次采用激光模拟了活塞热负荷。激光具有功率密度高和时空分布可控性好等优点, 通过二元光学转光片改变激光在空间的能量分配比例从而使活塞实现特定的温度分布和波动<sup>[5-6]</sup>。

**收稿日期:** 2009-10-20

**作者简介:** 谭建松 (1968-), 男, 山西大同人, 博士, 主要从事热负荷技术研究工作。Email: mingpang1980@126.com

文中介绍了活塞激光热负荷试验系统,其试验方法可以借鉴为研究相关的热负荷构件,其研究结果为深入研究活塞的热负荷奠定基础。

## 1 试验原理

活塞在发动机真实运转工况下,其特定温度分布能量来源是周期性燃气的加热。真实工况下受热构件的热损伤是由温度分布和相应的波动导致。热负荷试验在准确的反应构件的温度分布基础上,产生相应的温度波动,模拟构件的热损伤。激光热负荷试验系统在有效的反应实际构件热损伤的基础上,能加速危险区域的热损伤。

## 2 试验设备和功能

### 2.1 试验设备

活塞激光热负荷试验设备由激光器、红外测温仪、CCD 摄像头、通水和通气等设备构成,如图 1 所示。针对活塞特定的温度分布,设计激光在空间的能量分布,利用有限元反求方法优化激光在空间的能量分布比例,采用二元光学转光片实现优化的激光空间比例,结合电脑控制激光在时间域上的能量分配,从而使活塞实现特定的温度分布和波动。活塞激光热负荷试验过程中激光参数与冷却方式的协调是通过集成软件实现。

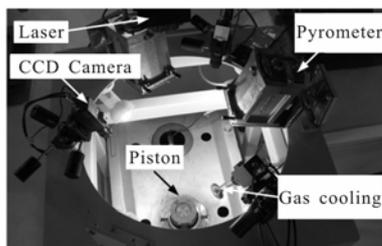


图 1 活塞激光热负荷系统

Fig.1 Laser thermal loading system of piston

### 2.2 设备功能

活塞激光热负荷试验系统具有通水、通气的冷却方式,对于温度的控制方式有时间控制模式和温度控制模式两种。时间控制模式就是设置加热和冷却时间,如果加热的时间达到设置的时间,降低激光功率对受热构件进行冷却,当冷却时间达到设定的时间,激光功率再次升高;温度控制模式就是设置受热件的最高和最低温度,如果构件加热到设定的最高温度,激光器功率降低,受热构件开始冷却,当冷却温度达

到设定温度,激光器功率再次升高。图 2 是温度控制模式结果,图 3 是时间控制模式结果。从图 2 和图 3 可以看出,采用温度控制模式可以精确的控制特征点的温度波动幅度,采用时间控制方法很难准确的控制温度波动幅度。

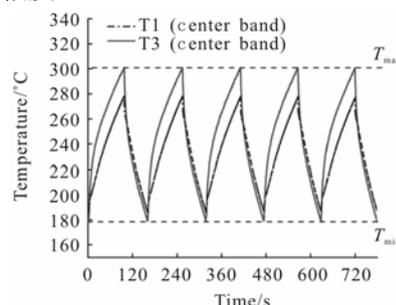


图 2 温度控制模式

Fig.2 Temperature controlling mode

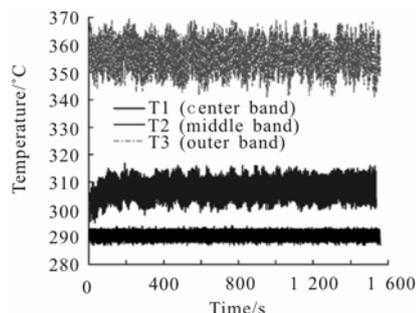


图 3 时间控制模式

Fig.3 Time controlling mode

## 3 结论

针对发动机受热构件特定结构,利用激光时空分布可控性特点,设计了能反应受热构件特定温度分布和波动的激光热负荷试验平台。利用该平台可以研究发动机不同受热构件的热损伤,其研究结果为热强度评估、材料选材、结构优化提供指导。

### 参考文献:

- [1] 雷基林, 申立中, 杨永忠, 等. 4100QBZ增压柴油机活塞机械负荷与热负荷耦合分析[J]. 燃烧科学与技术, 2008, 14(1): 61-66.
- [2] 施培文, 杜爱民. 发动机活塞热分析[J]. 内燃机, 2006, 3: 7-10.
- [3] 俞小莉, 沈瑜铭, 齐放. 活塞热疲劳试验技术温度分布模拟系统[J]. 内燃机工程, 2000, 4: 58-61.
- [4] 王希珍, 沈季省, 严兆大. 活塞热冲击有限元分析[J]. 内燃机学报, 2002, 20(6): 564-568.

- [5] SONG Hong-wei, YU Gang, TAN Jian-song, et al.. Thermal fatigue on pistons induced by shaped high power laser(Part I: Experimental study of transient temperature field and temperature oscillation)[J].International Journal of Heat and Mass Transfer,2008,51: 757-767.
- [6] SONG Hong-Wei , YU Gang , ALEXANDER F H K, et al. Thermal fatigue on pistons induced by shaped high power laser(Part II: Design of spatial intensity distribution via numerical simulation)[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer,2008,51: 768-778.