

柴油机轴承盖结构与铸造的协同设计及制造实践

张思泽, 陈丽阳, 陈友才, 冯志琼, 吴 威, 赖青华

(云南云内动力机械制造有限公司, 云南昆明 651701)

摘要: 降低柴油机功重比对于节能减排至关重要, 某型柴油机已通过对柴油机外部零件采用合金替代铸铁方式实现轻量化。为最大限度减轻产品重量, 满足客户需求, 通过对某型商用柴油机关键零部件进行分析, 同时结合铁型覆砂工艺, 采用CAE软件对柴油机轴承盖进一步开展结构与铸造协同设计和优化, 满足使用性能要求前提下, 改善材料性能。轴承盖铸件工艺验证及可靠性试验结果表明, 产品结构强度保持与原零件一致, 零部件外观得以改善, 毛坯重量减少3.25 kg/套, 成品减重0.85 kg/套, 节能减排和经济效益显著。

关键词: HT250; 轻量化; 轴承盖; 柴油机; CAE

汽车自身重量对燃油消耗控制、污染物排放具有重要影响。铸件类零部件通常作为汽车关键零部件构成之一, 铸件类零部件占汽车单重10%~20%, 汽车铸件轻量化对降低整车重量、降低污染物排放具有重要意义。目前, 汽车轻量化技术路线有: 铸件材料替代、铸造工艺技术进步以及产品结构优化改进3个方面。针对柴油机曲轴箱主轴承盖部件服役工况以及失效分析, 对该零部件重新进行优化设计, 达到缸内关键零部件轻量化要求。

原部件两侧毛坯面存在减重槽, 产品铸造中间分型, 铸件肥大, 中间分型线较长, 外观质量较差, 工艺出品率低, 原结构如图1所示。该商用柴油机轴承盖在无箱造型线上造型浇注, 使用浇注热冒口对其厚大部位进行补缩, 由于内浇口位于厚大部位, 工艺热节与铸件热节重合, 为防止铸件加工后重要面缩松、缩孔, 在设计中加大了热冒口模数, 造成产品工艺出品率偏低。

为优化现铸造工艺, 满足产品轻量化要求, 在现产品使用条件下, 对现产品结构进行更改, 优化结构, 零件加工后无分型线, 外观质量明显改善, 如图2所示。

1 产品结构优化及计算分析

1.1 结构设计

根据铁型覆砂工艺要求, 通过对产品截面形状的调整, 在保证截面面积基本一致的情况下, 使产品单件质量下降0.17 kg, 更改结构后, 铸件铸造工艺性提升, 可适用于各类造型生产线。对比如图3所示。

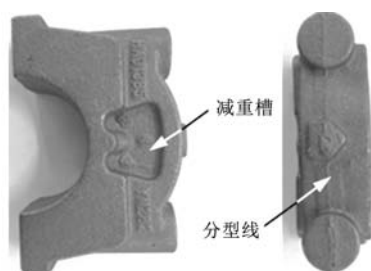


图1 原HT250轴承盖结构

Fig. 1 Original structure of the HT250 bearing cover

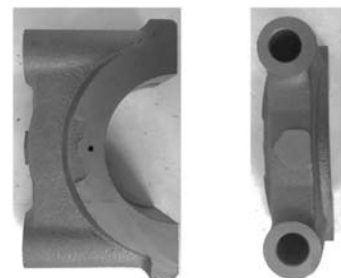


图2 新HT250轴承盖结构

Fig. 2 New structure of the HT250 bearing cover

作者简介:

张思泽(1976-), 男, 高工, 硕士, 研究方向为铸造工艺及设备。电话: 13577074243, E-mail: 893036109@qq.com

中图分类号: TG251

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)07-0919-05

收稿日期:

2021-12-20 收到初稿,
2022-03-15 收到修订稿。

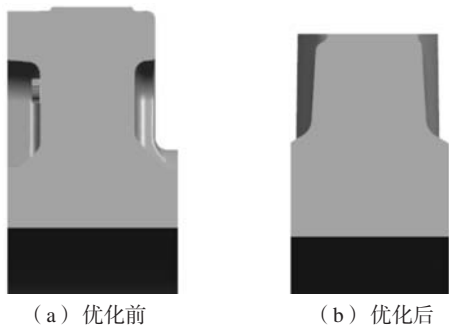


图3 优化前后产品结构

Fig. 3 Product structure before and after optimization

1.2 计算分析

柴油机轴承盖作为发动机核心零部件，在工作过程中承受较高负荷，结构优化调整后需对其强度进行校核，本研究采用ABAQUS 软件分析轴承盖新结构静态强度，并与原轴承盖对比。具体目标是计算得到最大爆发压力工况下轴承盖的应力及变形。

1.2.1 分析模型及初始条件

计算域内缸体部件包含机体、轴承盖等零件，材料力学性能参数如表1所示。

表1 缸体部件材料力学性能参数
Table 1 Mechanical property parameters of the cylinder block components

零部件	材料	杨氏模量/MPa	泊松比
机体与轴承盖	HT250	125 000	0.25
螺栓	Steel	210 000	0.3
轴瓦	Steel	21 000	0.3
曲轴	QT800	175 000	0.275

根据发动机缸压曲线及轴承盖受力曲线，如图4和图5所示，获得轴承盖最大载荷为(145+5) bar(对应轴承盖压力值约68.5 kN)。对缸体部件主轴承座施加轴承68.5 kN载荷至轴瓦，计算合件静态变形量及应力值。

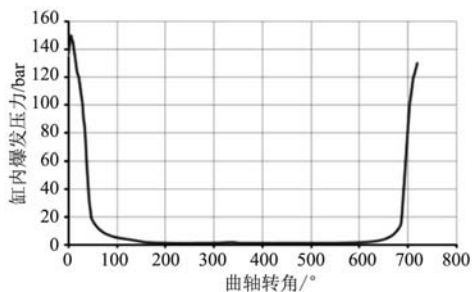


图4 缸压曲线

Fig. 4 Pressure curve in the cylinder

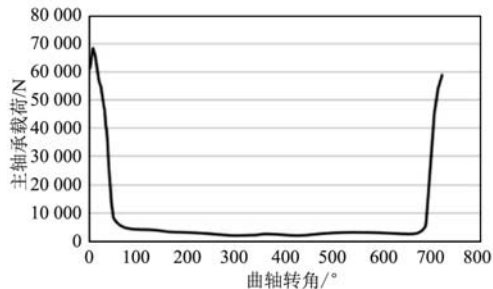
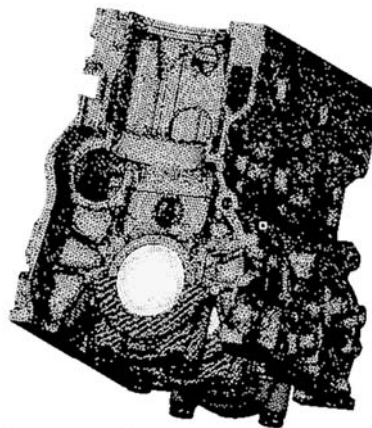


图5 轴承盖压力曲线

Fig. 5 Pressure curve for the bearing cover

1.2.2 网格划分

计算域内缸体部件采用四面体二次修正网格来分析。缸体及轴承盖结构比较复杂，为完整保留其结构，采用专业网格划分软件hypermesh进行网格划分，划分结果如图6所示。



名称	节点数	网格数
缸体	1 109 341	638 050
主轴承盖	3 391×5	12 115×5
主轴瓦	1 981×5	1 200×5
主轴承盖螺栓	1 066×10	772×10

图6 总成网格

Fig. 6 Assembly grid

1.2.3 计算结果

对缸体部件新旧方案变形计算结果如图7和图8所示，对比结果可以看出，缸体部件新旧方案最大变形差别可忽略不记。

1.2.4 轴承盖变形计算结果

新旧方案轴承盖变形计算结果如图9和图10所示，对比可知，轴承盖新结构的最大径向变形值为0.053 1 mm，较旧方案的最大径向变形值0.051 9 mm略大，在精度允许范围内，不影响使用。

1.2.5 轴承盖应力计算结果

新旧方案轴承盖应力计算结果如图11和图12所示，从图中可以看出，新方案计算得出其最大主应力

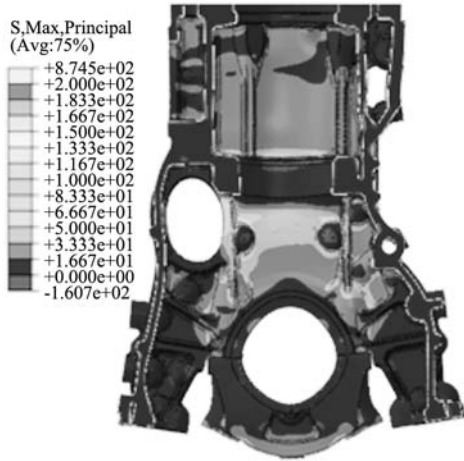


图7 原方案

Fig. 7 Original scheme

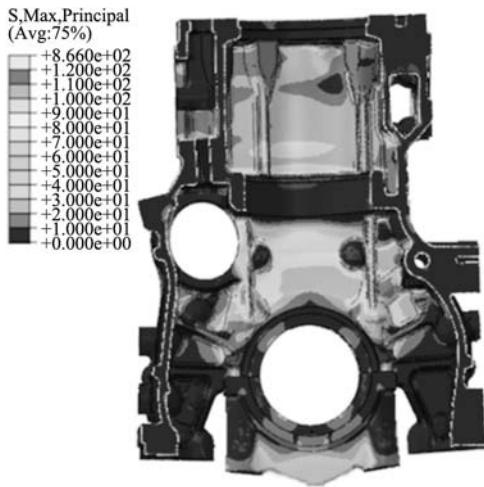


图8 新方案 (成品轴承盖)

Fig. 8 New scheme (finished bearing cover)

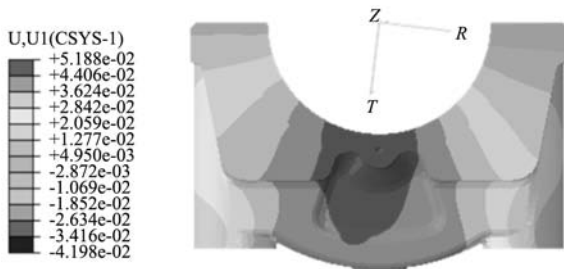


图9 原方案轴承盖变形

Fig. 9 Strain of the bearing cover for the original scheme

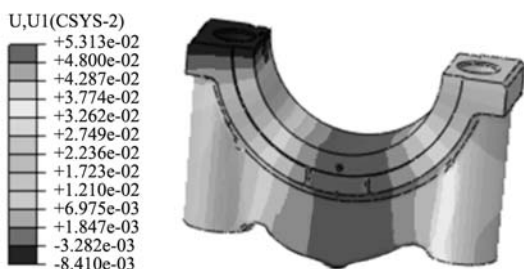


图10 新方案轴承盖变形 (成品外形)

Fig. 10 Strain of the bearing cover for the new scheme



图11 原方案轴承盖应力

Fig. 11 Stress of the bearing cover for the original scheme

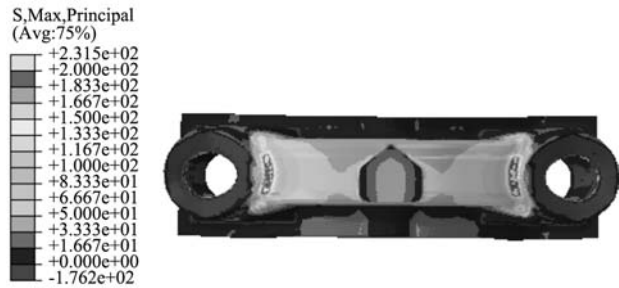


图12 新方案轴承盖应力

Fig. 12 Stress of the bearing cover for the new scheme

值为231.5 MPa (图12), 低于材料HT250的极限抗拉强度且低于原轴承盖最大主应力值236.6 MPa (图11), 基于原方案轴承盖已批量使用, 且未发现轴承盖本身原因导致失效的情况, 从对比结果分析, 新方案满足使用要求。

2 铸造工艺设计和分析

2.1 铸造工艺设计

针对结构优化后轴承盖铸件 (图2) 进行了铸造工艺设计, 设计方案如图13所示。

在相同化学成分条件下, 铁型覆砂铸件强度以及硬度平均值高于普通潮模砂铸件强度10%~15%, 废品率降低2%。为提高工艺出品率, 改善铸件力学性能, 我司考虑采用铁型覆砂工艺, 铸件立放, 1型26件, 工艺出品率提升至78.5%, 铸件无需打磨分型面批缝以及浇冒口, 降低了铸件生产成本。同时, 铸件所需材料重量明显降低, 毛坯重量降低3.25 kg/套, 成品减重0.85 kg/套。新旧方案具体对比如表2所示。

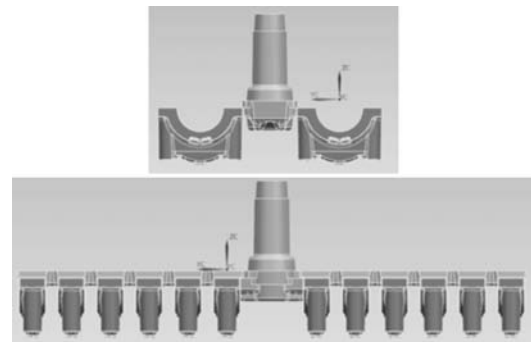


图13 铁型覆砂铸造工艺设计图

Fig. 13 Casting process design of the iron pattern coated molding sand

表2 铸造工艺方案对比
Table 2 Comparison of the schemes of the casting process

工艺	工艺出品率/%	单型数量/件	毛坯单重/kg	毛坯套重(5件)/kg	成品单重/kg	成品套重(5件)/kg
无箱造型线工艺	57.60	一模6	2.98	14.9	1.85	9.25
铁型覆砂线工艺	78.50	一模26	2.33	11.65	1.68	8.4

2.2 铸件充型凝固过程数值模拟

为确保工艺方案的实施效果,缩短开发周期,采用ProCAST软件对轴承盖铸件充型凝固过程进行数值模拟,分析预测浇注过程金属液流动形态变化和凝固过程铸件缩孔、缩松缺陷产生可能性。

铸件充型过程计算结果如图14所示,从图中可以看出,铁液经直浇道,在过滤网的缓流作用下,快速平稳充满横浇道和铸件。

铸件凝固过程计算结果如图15所示,从图中可以看出,浇注系统(兼具补缩作用)为高温区域,铸件由外向浇道顺序凝固,浇注系统对铸件存在一次补缩作用。

从如图16所示的缩松预测结果可以看出,在缩松率0~95%范围内,铸件内部无缩孔、缩松。

3 铸件验证、节能减排及工效分析

铸件试制过程中,浇注后开箱时间是保证整箱铸件材质均匀性、一致性的关键因素,为保证同一箱内铸件一致性,开箱温度不高于650℃,控制型内铸件冷



图14 初始充型状态

Fig. 14 Initial status of the mold filling



图15 凝固初期

Fig. 15 Initial stage of the solidification



图16 缩松预测

Fig.16 Prediction of the dispersed shrinkage

却时间在25~30 min。如图17所示为采用铁型覆砂工艺生产的轴承盖铸件,经解剖以及深加工检查,铸件内部无缩孔、缩松缺陷,铸件外观质量得到提升。

轴承盖变形主要对摩擦副即曲轴和主轴瓦产生影响,因此,可以通过主轴瓦磨损情况校核轴承盖是否满足结构强度要求。为确保产品更改对缸体部件性能影响在允许范围内,公司对组装新方案轴承盖进行400 h可靠性试验,主轴瓦试验后符合验收标准,由此可判定轴承盖满足使用要求,如图18所示。

通过结构和铸造工艺优化,新方案轴承盖毛坯重量减轻,产品质量提升,实际产生的节能减排和经济效益如下。

(1) 材料费。按公司实际年产20万台套计算,新

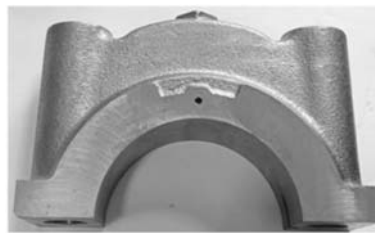


图17 采用铁型覆砂工艺生产的轴承盖(半成品)

Fig.17 Production of the bearing cover (semi-finished product) by the sand-lined metal mold process



图18 试验后主轴瓦

Fig. 18 Main bearing bush after test

方案轴承盖毛坯重量减轻3.25 kg/套, 年节约材料650 t。

(2) 动力、减排费。按平均吨电耗1 100 kW·h、年产20万台套计算, 减少熔炼电耗71.5 万kW·h; 按节约1 kW·h约减排0.272 kg“碳”计算, 则一年将减少265.2 t碳排放。

(3) 人工成本。按公司实际年产20万台套, 按表2所列数据得到年产轴承盖铸件2 330 t, 新工艺方案轴承盖毛坯浇注后无坯缝, 公司打磨坯缝人工及辅料成本在50元/吨, 优化后无需打磨, 单此项就可节约人工及辅料成本11.65万元。

(4) 销售终端竞争。新方案轴承盖材质、加工一致性提升明显, 生产工艺占据质量、成本优势, 市场份额具有竞争力。

参考文献:

- [1] 董选普, 李继强. 铸造工艺学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造工艺手册: 5 [M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [3] 黄长艺, 严普强. 材料力学 [M]. 北京: 清华大学出版社.
- [4] 廖日东, 左正兴, 樊利霞, 等. 发动机零部件有限元技术应用的新进展 [J]. 内燃机学报, 1999 (2): 99-106.
- [5] 贾浩敏, 尹析明, 唐建新. 铸件凝固过程中缩松、缩孔预测及数值模拟优化 [J]. 热加工工艺, 2008, 37 (17): 51-53.
- [6] 黄列群, 潘东杰. 铸铁型覆砂铸造工艺及其应用 [J]. 铸造, 1999 (2): 30-40.
- [7] 陈海清, 李华基, 曹阳. 铸件凝固过程数值模拟 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.

Collaborative Design and Manufacturing Practice of Diesel Engine Bearing Cover Structure and Casting

ZHANG Si-ze, CHEN Li-yang, CHEN You-cai, FENG Zhi-qiong, WU wei, LAI Qing-hua
(Yunnan Yunnei Power Machinery Manufacturing Co., Kunming 651701, Yunnan, China)

Abstract:

Reducing the power to weight ratio of diesel engine is very important for energy conservation and emission reduction. A certain type of diesel engine has achieved lightweight by using alloy instead of cast iron for external parts of diesel engine. In order to minimize the product weight and meet the needs of customers, through the analysis of the key parts of a commercial diesel engine, combined with sand-lined metal mold process, CAE software was used to further carry out the collaborative design and optimization of the structure and casting of the diesel engine bearing cover, so as to improve the material performance on the premise of meeting the usability requirements. The technological test and reliability test results of the bearing cover casting showed that the structural strength of the product was consistent with that of the original parts, the appearance of the parts was improved, and the weight of the blank was reduced by 3.25 kg per set, and the weight of the finished product was reduced by 0.85 kg per set. Prominent energy conservation and emission reduction and economic benefits have been achieved.

Key words:

HT250; lightweight; bearing cover; diesel engine; CAE