

高压油缸球墨铸铁端盖的铸造工艺优化与试制

马艳东¹, 李松杰¹, 周正寿¹, 孙祥广¹, 薛茂权²

(1. 江苏恒立液压股份有限公司, 江苏常州 213167; 2. 常州工业职业技术学院, 江苏常州 213164)

摘要: 对工程机械关键零部件高压油缸端盖的铸造工艺进行设计, 实际生产过程中铸件表面产生砂眼、内部缩松和缩孔缺陷。利用MAGMA软件对高压油缸端盖铸件充型和凝固过程进行模拟, 分析缺陷产生的原因, 对铸造工艺进行优化设计, 增加冒口数量和优化空间布置, 同时增大冒口颈尺寸, 模拟结果表明整个浇注过程金属液面平稳, 基本实现了顺序凝固, 对于特殊结构, 热节模式、部分孤立液相利用石墨自补缩也能致密铸件。实际试制结果也表明, 冒口起到了显著的补缩效果, 铸件表面没有发现缩孔、缩松、砂眼等缺陷。

关键词: MAGMA软件; 高压油缸端盖; 工艺优化; 球墨铸铁

近年来, CAE技术已广泛应用于铸造产品开发设计、分析制造工艺等方面^[1-3]。借助CAE软件可对铸造充型、凝固过程在计算机上进行模拟。铸造工艺中采用计算机模拟技术可以缩短产品试制周期、降低生产成本及提高材料利用率^[4-7]。

高压油缸端盖铸件作为液压高压油缸关键零部件, 在使用过程中要求有足够的强度与刚度, 组织致密, 承受压力不得渗漏, 因此必须严格控制高压油缸端盖铸件的砂眼、缩孔和缩松等铸造缺陷, 在实际生产过程中, 由于高压油缸端盖合金元素含量多, 铸造性能差, 凭借传统经验所制订的铸造工艺方案, 生产高压油缸端盖铸件时发现产品出现砂眼、缩孔和缩松等严重缺陷, 导致产品合格率低。

针对高压油缸端盖铸件生产时存在的不足, 基于铸造CAE技术, 采用MAGMA软件, 对原工艺方案的充型和凝固过程进行了模拟, 分析原工艺方案中缺陷形成的原因。引入全新的优化工艺方案来改善铸件品质。

1 试验材料与方法

1.1 产品结构

高压油缸端盖铸件结构如图1。主要由端盖本体a、油口b和14个螺栓孔c组成。14个螺栓的本体外直径157 mm, 端盖本体最大壁厚44 mm, 最小壁厚8 mm, 铸件质量为11.2 kg, 壁厚差异大, 螺栓孔阻断铸件补缩通道, 该铸件是用于20吨液压挖掘机的油缸, 工作最大压力达到34.3 MPa, 故铸件对强度、伸长率和铸件内部缩松要求比较高, 加工后铸件表面不能出现气孔、夹砂、夹渣等缺陷, 影响密封, 导致高压油缸泄压甚至漏油。

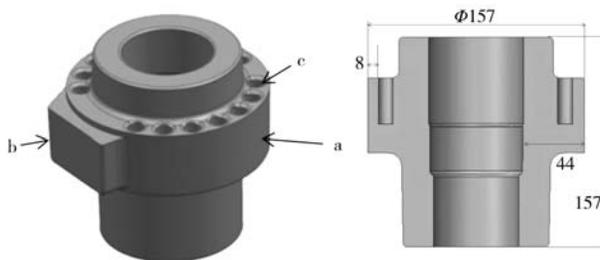


图1 高压油缸端盖铸件结构

Fig. 1 Casting structure of high pressure cylinder end cover

作者简介:

马艳东(1987-), 男, 工程师, 主要从事铸造生产与工艺研究工作。电话: 15151986510, E-mail: mayandong@hengli.net

中图分类号: TG255

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)11-1422-05

基金项目:

江苏省工业和信息厅产业转型升级项目(BA2019019); 江苏省产学研合作重点项目(BY2021173)。

收稿日期:

2022-05-11 收到初稿,
2022-07-21 收到修订稿。

1.2 铸件材料选择

高压油缸端盖材料QT500-7为铁素体+珠光体型球墨铸铁, 兼有铸铁和钢的性能, 具有强度高、韧性好、伸长率大等特点, 化学成分如表1所示。

表1 高压油缸端盖铸件化学成分要求
Table 1 Chemical composition of high pressure oil cylinder cover $w_B / \%$

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg
3.6~3.9	2.0~2.5	≤1	≤0.07	≤0.025	≤0.07	≤0.7	0.035~0.055

1.3 试验方法

试验用原料为生铁、废钢和回炉料, 将一定比例的炉料烘干处理后, 放入容量为1 t的FS60/1T型ABP中频无芯感应试验电炉中进行熔炼, 使用德国ZORC Dual Track Injection Master双通道喂丝机自动喂丝球化工艺和德国KW静压造型线, 喂丝球化完成后采用FOX 15型KW SLS全自动浇注机进行浇注, 浇注温度(1380 ± 10) °C, 冷却到300 °C后开箱, 待铸件冷至室温后进行表面清理, 然后对铸件进行内部解剖。

2 高压油缸端盖铸件的原方案分析与讨论

2.1 高压油缸端盖铸件原设计方案

高压油缸端盖铸件原工艺图见图2。从图2可见, 零件的排位采用1模8件。采用3个冒口进行补缩(图

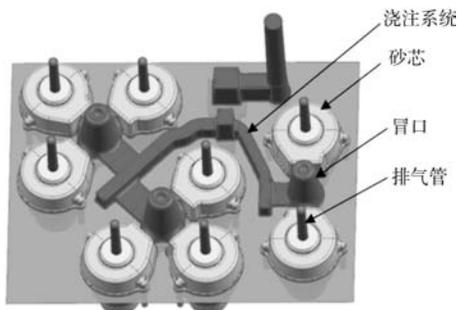
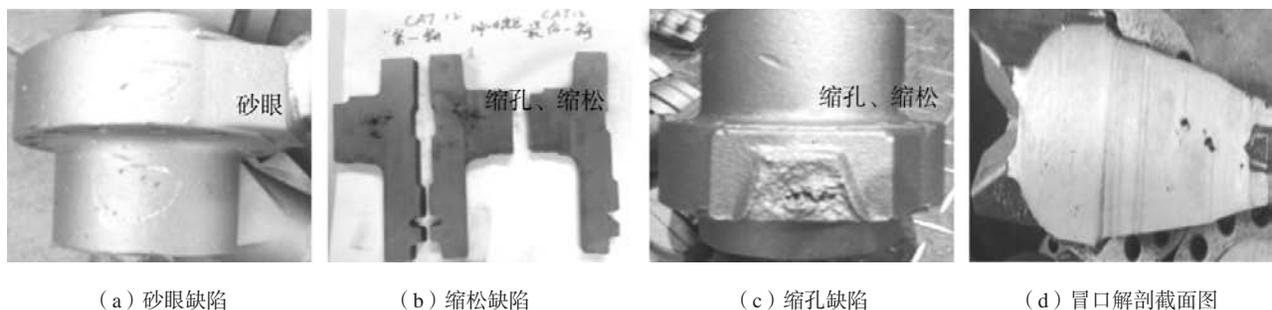


图2 高压油缸端盖铸件原工艺

Fig. 2 Preliminary casting process of high pressure cylinder end cover



(a) 砂眼缺陷

(b) 缩松缺陷

(c) 缩孔缺陷

(d) 冒口解剖截面图

图4 原方案试制的铸件和冒口解剖图

Fig. 4 The casting and section of riser in preliminary process

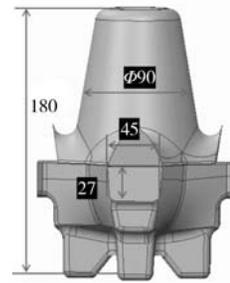


图3 原工艺冒口形状及尺寸

Fig. 3 Shape and size of riser of original process

3), 其中2个冒口各补缩三个高压油缸端盖铸件, 每个铸件上各放置一个排气管。浇注系统采用冒口入铁液方式, 整个浇注系统重量138 kg, 浇注时间14 s, 铸件上型腔和法兰上孔是由壳型形成的, 冒口颈的尺寸是45 mm × 27 mm, 工艺出品率 $11.2 \times 8 / 138 = 64.9\%$ 。

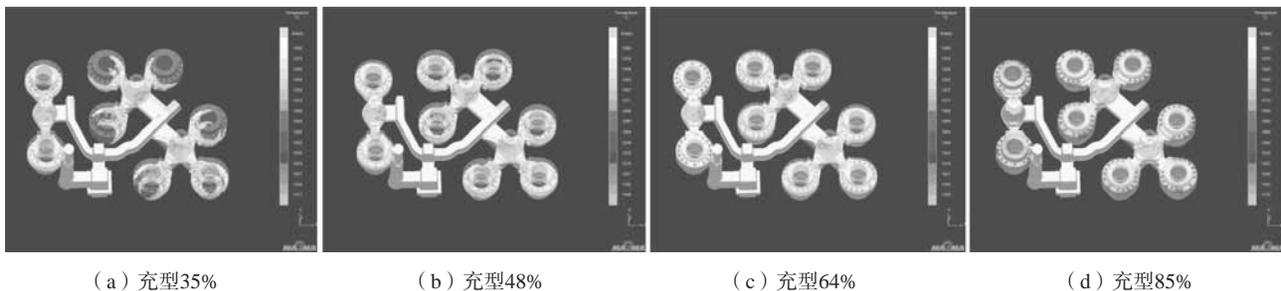
2.2 高压油缸端盖铸件品质与分析

原工艺方案生产的高压油缸端盖铸件在表面产生了砂眼、缩松和缩孔缺陷发生在冒口颈固定位置, 见图4a、4b和4c, 严重影响零件的质量, 造成产品报废率高达10%左右。铸造缺陷和较低的产品合格率使得高压油缸端盖铸件铸造成本显著提高。铸件切除冒口后发现(见图4d), 冒口上部有收缩缺陷位置, 冒口中下部位没有出现缩松缺陷, 说明是冒口颈尺寸过小补充液态收缩不足、导致缺陷产生的原因可能是冒口颈尺寸及其凝固时间设计不当导致的。

2.3 高压油缸端盖铸件原设计方案模拟

为了进一步探索与确认高压油缸端盖铸件砂眼、缩孔和缩松等缺陷的形成原因, 并提供可视化的充型过程分析。采用MAGMA软件对各时间段充型进行模拟, 结果如图5。可以看出, 浇注过程中充型不平稳, 铁液进入三个铸件公用的冒口时出现严重的液面不平衡状态, 产生湍流, 有可能是产生砂眼的原因。

图6为MAGMA软件对补缩系统模拟结果。从图6a



(a) 充型35%

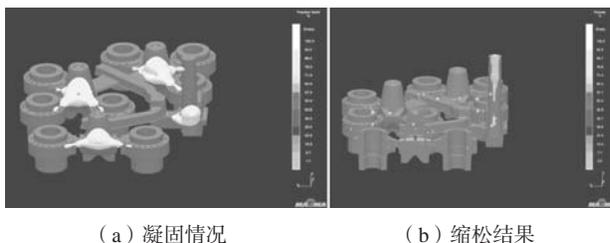
(b) 充型48%

(c) 充型64%

(d) 充型85%

图5 原工艺各时间段充型过程

Fig. 5 The evolution of solidify state at different time in the Mold Filling process



(a) 凝固情况

(b) 缩松结果

图6 原补缩系统模拟

Fig. 6 The simulation of feeding system for preliminary process

可以看出,凝固后期,冒口颈前端铸件铁液过早与冒口断开,出现剩余液相,铸件得不到铁液补缩。从图6b可以看出,缩松模拟显示铸件对剩余液相部位有缩孔,可能存在铸造缺陷的发生,对原模拟结果进行补充说明,原模拟工艺处在临界状态,当铁液冶金质量比较好时,产品没有缩松问题;当冶金质量不好时,可能会出现收缩缺陷,工艺保险系数不高,铁液质量发生波动时,导致有10%的废品率发生。

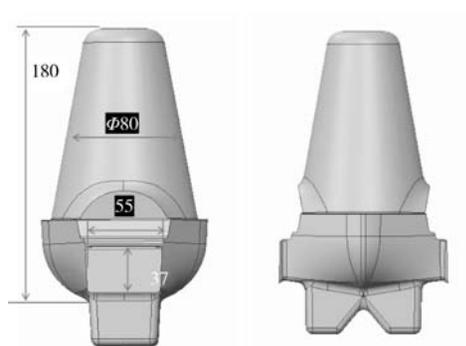
3 高压油缸度端盖铸件铸造工艺优化

3.1 高压油缸端盖铸件的优化设计方案

对原工艺设计方案生产及数值模拟分析表明,当铁液凝固时,由于冒口补缩通道狭窄,导致铸件产生缩孔、缩松缺陷。针对原工艺方案的不足,结合产品表面不能有明显缩松、缩孔和砂眼等缺陷的技术要求,提出了优化工艺思路:①对冒口颈加宽10 mm和加厚10 mm,以增加冒口颈的补缩流动性,详见图7;②每个冒口补缩铸件由3个改为2个;③铁液由直浇道至铸件在横浇道的流动距离缩短;优化后的工艺方案如图8。

3.2 高压油缸端盖铸件优化设计方案模拟分析

为了进一步探索与确认高压油缸端盖铸件砂眼、缩孔和缩松等缺陷的消除。采用MAGMA软件对优化后工艺方案各时间段充型进行模拟。由图9可见,优化后工艺基本实现了设计目标,整个内浇口在充型过程中始终处于充满的状态,而且从温度场看,冒口处的



(a) 优化后冒口主视图 (b) 优化后冒口左视图

图7 优化后工艺冒口尺寸及形状

Fig. 7 Shape and size of riser after optimization

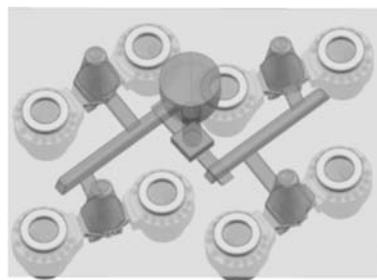


图8 高压油缸端盖铸件优化后工艺图

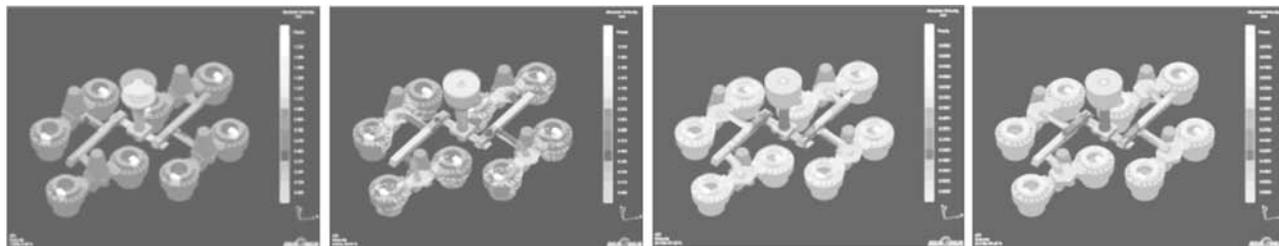
Fig. 8 Optimized process of high pressure oil cylinder end cover

温度始终最高。整个浇注过程金属液面比较平稳,湍流发生较少^[8]。

图10为MAGMA软件对补缩系统的模拟。从图10a可以看出,在凝固过程中、靠近冒口铸件部分较早凝固出现断掉了剩余液相补缩通道、铸件得不到补缩。从图10b缩松模拟可以看出铸件对剩余液相部位未出现缩孔,仅有区域性缩松。对缩松进行分析,当“X-ray=5”表示缩松模拟过滤5%后,小于5%的缩松可以通过自补缩完成。

3.3 铸件生产试制与品质分析

采用优化设计方案试制的高压油缸端盖铸件见图11a。在铸件表面没有发现明显的缩孔、缩松现象以及



(a) 充型8%阶段

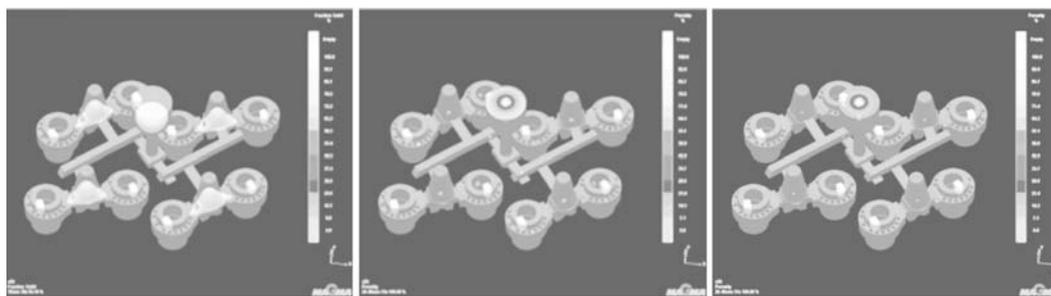
(b) 充型24%阶段

(c) 充型 67%阶段

(d) 充型80%阶段

图9 优化工艺各时间段充型过程

Fig. 9 Optimization of the evolution of filling process at different time



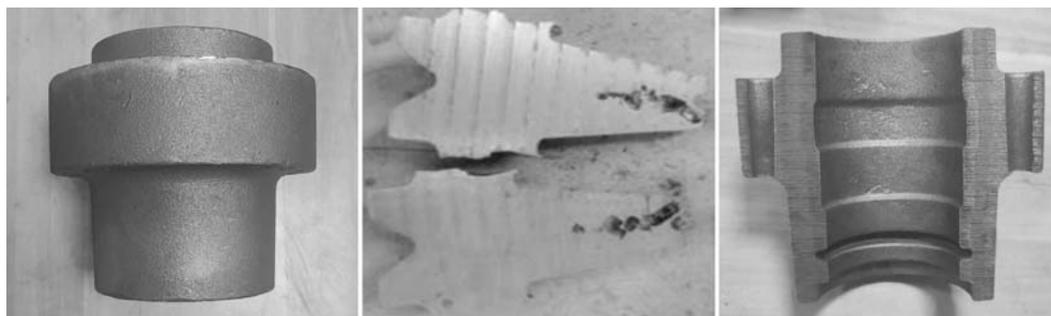
(a) 固相率

(b) 孔隙率

(c) X-ray=5

图10 优化后补缩系统模拟

Fig. 10 The simulation of feeding system for optimizing process



(a) 优化后合格铸件

(b) 优化后冒口解剖图

(c) 优化后铸件解剖图

图11 优化后的高压油缸端盖铸件和冒口解剖图

Fig. 11 The casting and section of riser after optimized process

砂眼等缺陷。图11b中铸件切除冒口后发现，冒口颈明显，说明冒口起到了显著的补缩效果，从而使缩孔、缩松等缺陷消失，得到致密性铸件。

4 结论

(1) 对高压油缸端盖铸件原生产工艺方案及铸件缺陷形成原因分析，发现冒口颈尺寸小、补缩流动性

差且整个浇注不平稳，导致铸件产生砂眼、缩松和缩孔。

(2) 增大了冒口颈尺寸，每个冒口补缩铸件由3个改为2个，优化后的工艺设计保证了铸件质量。

(3) 优化工艺模拟表明，工艺解决了铸件表面砂眼、缩松和缩孔等缺陷问题。产品合格率由原来的90%左右提高至99%以上。

参考文献:

- [1] 陈忠士, 邹泽昌, 蓝敏俐, 等. QT700-3球墨铸铁凸轮轴壳型铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2022, 71 (3): 367-371.
- [2] 张玉磊, 张纬, 张纯, 等. 轨道交通K6侧架铸件铸造工艺设计与试制 [J]. 铸造, 2022, 71 (2): 210-214.
- [3] 闫亮亮, 刘佳敏, 薛帅, 等. 大型复杂齿轮箱体差压铸造工艺的优化 [J/OL]. 热加工工艺, 2022 (17): 63-65.
- [4] 党云鹏, 曹岩. 基于ProCAST的ZL205A合金弹体传动件铸造工艺优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2022, 42 (2): 162-166.
- [5] 郭平, 李洪应. 球墨铸铁支架铸件的铸造工艺改进 [J]. 现代铸铁, 2021, 41 (3): 13-17.
- [6] 唐方艳, 梅益, 薛茂远, 等. 大型机床底座铸造工艺设计与优化 [J]. 铸造, 2022, 71 (1): 103-108.
- [7] 孙逊, 时坚, 税国彦, 等. 高速列车铸钢制动盘铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2020, 69 (12): 1348-1355.
- [8] 黄之德. 基于ProCAST的风镐缸体铸件工艺及性能分析 [J]. 铸造技术, 2015, 36 (4): 1072-1074.
- [9] 周传龙, 何强, 周宏根, 等. 基于ProCAST的柴油机活塞铸造工艺模拟及优化 [J]. 铸造, 2022, 71 (5): 632-636.

Optimization and Trial Production of Casting Process for Ductile Iron End Cover of High Pressure Oil Cylinder

MA Yan-dong¹, LI Song-jie¹, ZHOU Zheng-shou¹, SUN Xiang-guang¹, XUE Mao-quan²

(1. Jiangsu Hengli Hydraulic Co., Ltd., Changzhou 213167, Jiangsu, China; 2. Changzhou Institute of Industry Technology, Changzhou 213164, Jiangsu, China)

Abstract:

The end cover of high-pressure oil cylinder is a key part of construction machinery. The casting process scheme is explored. In the actual production process, it is found that there are sand holes on the surface of the casting, internal shrinkage porosity and shrinkage cavity defects. The filling and solidification process of high-pressure oil cylinder end cover casting are simulated by using magma software, the causes of defects are analyzed, then the casting process is optimized, the number of risers and spatial layout are increased, and the size of riser neck is increased. The simulation results show that the metal liquid level is stable in the whole pouring process, and basic sequential solidification is realized. For special structures, the hot joint mode and some isolated liquid phase can also be used to self-compensate for dense castings using graphite. The trial production results also show that the riser has a significant feeding effect, and no shrinkage cavity, shrinkage porosity, sand holes and other defects were found on the casting surface.

Key words: MAGMA software; high pressure oil cylinder cover; process optimization; ductile iron