

大型薄壁壳体零件的消失模铸造工艺开发

张杰琼¹, 何帅伟², 李宗亮², 李 露¹, 吕乐华¹, 轩世成²

(1. 第一拖拉机股份有限公司, 河南洛阳 471004; 2. 一拖(洛阳)铸锻有限公司, 河南洛阳 471003)

摘要: 通过对某拖拉机传动箱壳体结构及消失模铸造工艺性分析, 设计了三种消失模铸造工艺方案, 通过数值模拟分析各个方案的优劣性, 对其工艺进行了优化。结合生产实际情况采用斜放式组模方案, 然后进行了工艺试验, 并且通过试验样件三维模型对比和加工鉴定验证了工艺方案的可行性。试验结果表明, 所采用的铸造工艺方案有效地控制了铸件变形量, 未见其他缺陷。

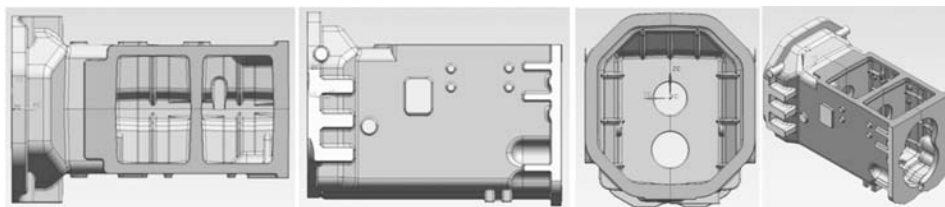
关键词: HT250; 壳体; 消失模铸造; 数值模拟; 变形

传动系壳体类零件, 体积大、壁厚小、结构复杂。采用砂型铸造综合成本高, 而采用消失模铸造则可将成本大大降低, 主要体现在以下几个方面: 消失模铸造相比砂型铸造简化了工艺过程, 减少了能源消耗; 砂型铸造的型砂、芯砂回收利用率低, 且需要加入粘结剂; 对于拖拉机传动系壳体类零件, 采用砂型铸造砂芯多且大、铁砂比非常低, 砂子浪费严重, 而消失模铸造干砂回收利用率高, 基本上不产生废砂, 节能环保, 节约成本; 壳体类采用砂型铸造需要多套芯盒和模具, 模具成本高, 而消失模模具仅需要一套模具即可, 模具成本即可节约1/2左右。因此, 采用消失模铸造生产拖拉机传动系壳体类零件可大大降低铸造成本, 据资料统计, 消失模生产壳体类零件其成本较砂型铸造每吨成本可降低800元以上, 对于大型薄壁壳体类零件则效果更加明显, 可以降低成本每吨约1 000元以上。但是, 壳体类零件消失模铸造难度相当大, 尤其是大型薄壁类零件, 最大的难点是在生产的各个环节都可能产生使铸件变形的因素, 铸件变形量难以控制。其次是冷隔和粘砂等缺陷的控制, 都需要系统地研究, 主要是精确地控制每一步工艺要点和技术参数。

某型号拖拉机传动系前箱是一拖公司KW线的主要产品之一, 批量较大, 其结构复杂, 体积大、重量大、最小壁厚小, 消失模铸造难度非常大, 具有很强的代表性。

1 产品结构及工艺性分析

该零件最初设计的时间较早, 只有二维图纸没有三维模型, 为了方便后续在虚拟的环境中进行工艺设计、数值模拟及优化, 对照二维图纸进行三维建模。如图1所示。



(a) 三维模型俯视图

(b) 三维模型左视图

(c) 三维模型前视图

(d) 三维模型轴测图

图1 传动箱三维模型

Fig. 1 Three dimensional model of transmission case

作者简介:

张杰琼(1986-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造工艺及设备相关工作。电话: 0379-64969372

中图分类号: TG249.6

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2024)

01-0101-06

收稿日期:

2023-06-05 收到初稿,

2023-08-23 收到修订稿。

该零件材质为HT250，毛坯理论质量：265.1 kg。最大外形尺寸为：816 mm × 530 mm × 578 mm，腔壁最小壁厚约为14 mm，最大壁厚约为50 mm（图2）。

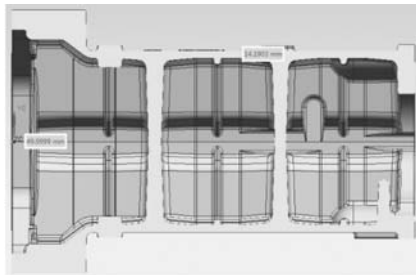


图2 最大壁厚和最小壁厚

Fig. 2 Maximum and minimum wall thicknesses

箱体整体尺寸大，壁厚不均，采用消失模铸造首先考虑变形问题，其次是冷隔问题。变形问题可通过严格的工艺过程管控、合理的浇注系统及防变形措施的设计和合理的加砂造型工艺等措施予以防控，冷隔问题可通过合理的浇道位置及较高的浇注温度来解决。

2 模具方案设计

根据零件及三维模型所示该传动箱的主体结构特征，经过分析确定分型方案为中间平面，分2片，如图3所示。

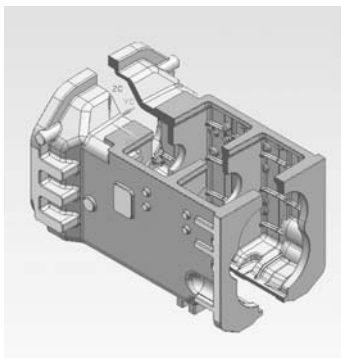


图3 模具分型方案

Fig. 3 Mold parting scheme

模具结构为自动机模，模具轮廓尺寸不大于1 100 mm × 900 mm × 600 mm。模具本体壁厚控制在12~15 mm，以保证模具强度及加热、冷却均匀。模具外框壁厚控制在18~20 mm，并设置加强筋。

模具材质为GBZL106，模具外形无影响使用性能的铸造缺陷，模具本体表面平整光滑，表面粗糙度 $Ra \leq 1.6 \mu\text{m}$ ；型腔、型芯、镶件采用TEFLON（特氟隆）涂层。各模块连接采用定位销或止扣镶嵌方式，使用不锈钢螺栓加弹簧垫圈固定。模具表面汽塞分布

均匀、合理。使用直径5~12 mm的铝制汽塞。加工余量位：3~5 mm。制作完成的模具如图4所示。



(a) 上模

(b) 下模

图4 模具

Fig. 4 Mold

经过调试，制作出合格的白模，模样表面光滑未见明显疏松、充不实、变形等缺陷。如图5所示。



(a) 白模内部

(b) 白模表面

图5 白模

Fig. 5 White pattern

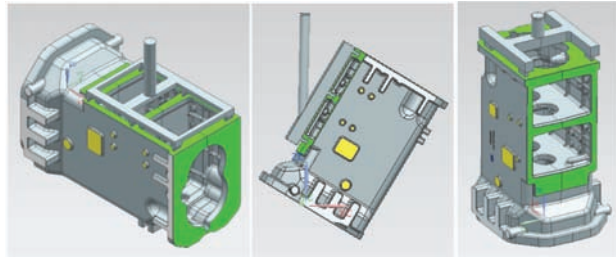
尺寸检测结果如表1所示，可见白模尺寸在工艺设计范围内，收缩率设置合理，壁厚符合要求。

表1 白模尺寸检测结果
Table 1 White pattern size inspection results

序号	位置	三维模型 尺寸/mm	白模理论 尺寸/mm	白模实测 尺寸/mm
1	宽	390	394.3	394.1
2	宽	530	536.4	536.3
3	宽	365	369.4	369.6
4	长	578	584.9	585.2
5	宽	40	40.5	40.7
6	宽	14	14.2	14.6
7	高	816	825.8	825.5
8	长	486	491.8	491.8
9	两侧搭子	54.4	55.1	55.2
10	宽	485	490.8	490.8
11	隔板厚	27	27.4	27.6

3 铸造工艺设计

为了保证提高将来工艺试验的效率及成功率,设计了3种消失模工艺方案并进行了相应的数值模拟,检验工艺方案的合理性。三种铸造工艺方案如图6所示。



(a) 方案1 (b) 方案2 (c) 方案3

图6 铸造工艺方案设计

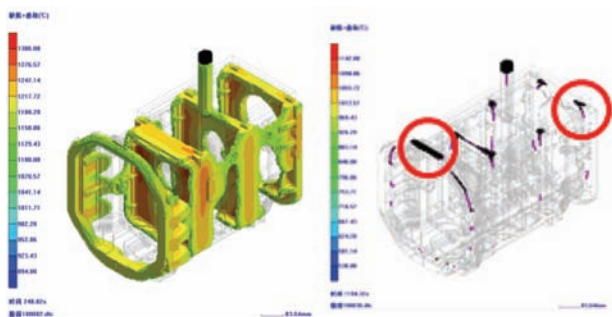
Fig. 6 Design of casting process plan

方案1: 平放顶注工艺,直浇道直径50 mm,横浇道截面40 mm × 20 mm,内浇道截面40 mm × 7.5 mm,压头210 mm。

方案2: 斜放侧注工艺,直浇道直径50 mm,横浇道截面60 mm × 55 mm,内浇道截面55 mm × 15 mm,压头190 mm。

方案3: 竖放顶注工艺,直浇道直径50 mm,横浇道截面45 mm × 50 mm,内浇道截面60 mm × 15 mm,压头320 mm。

采用华铸CAE铸造模拟系统消失模仿真模块^[2]对上述3种工艺方案进行数值模拟,其结果如图7-9所示。



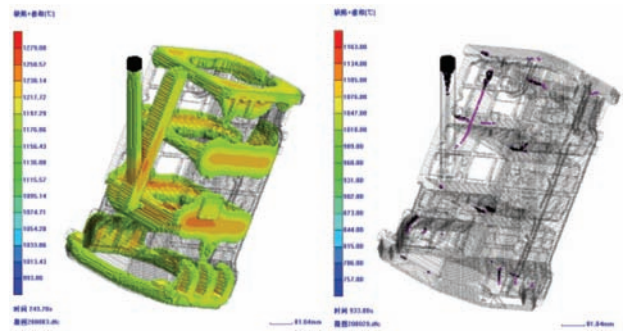
(a) 凝固50% (b) 凝固100%

图7 方案1数值模拟结果

Fig. 7 Numerical simulation results of scheme 1

方案1数值模拟结果: 凝固后期在图中所标注位置出现夹渣和缩孔缺陷,需增设溢流结构。另外,由于平放缘故,零件平面部分在下方,容易造成塌箱,因此在震实过程中要注意分多次加砂和震实,在浇注过程中要快浇。并且在造型过程中由于尺寸影响只能一箱一件,箱重较小。

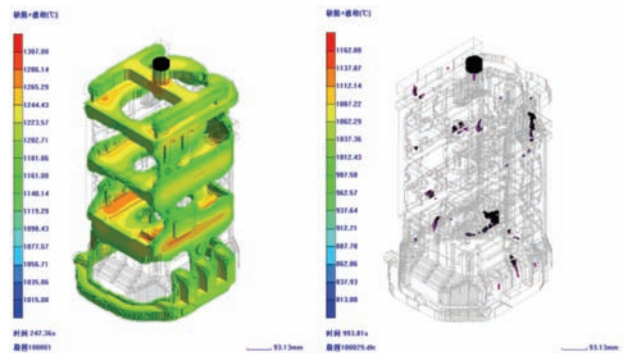
方案2和方案1相比较,具有更小的夹渣和缩孔倾



(a) 凝固50% (b) 凝固100%

图8 方案2数值模拟结果

Fig. 8 Numerical simulation results of scheme 2



(a) 凝固50% (b) 凝固100%

图9 方案3数值模拟结果

Fig. 9 Numerical simulation results of scheme 3

向,同时也降低了塌箱的风险,但是倾斜放置虽然有利于砂子填实,但是也造成了加砂和震实过程中的难度,需多次加砂,低振幅高频率震实。同样在造型过程中由于尺寸影响只能一箱一件,箱重较小。

方案3和方案2具有相同的优点,并且可以实现1箱2件浇注,箱重大,效率较高,但是充型紊乱,容易产生冷隔、夹渣缺陷。并且该放置方式在填砂过程中砂子不易填实,需在一些部位预填自硬砂。

4 工艺试验

综合考虑三种铸造工艺方案的优劣性以及消失模铸造生产线现场实际情况后采用方案2工艺。工艺方案2内浇道少,充型速度慢且铁液凝固过程中温度梯度大。因此,在工艺方案2的基础上增加内浇道以增加充型速度,并且减小温度梯度。具体如图10所示工艺优化方案。

对优化后的方案进行数值模拟对比,结果如图11所示。

优化方案数值模拟结果显示,该方案充型速度快,充型较平稳,凝固过程温度梯度小,易于降低疏松缩孔风险。

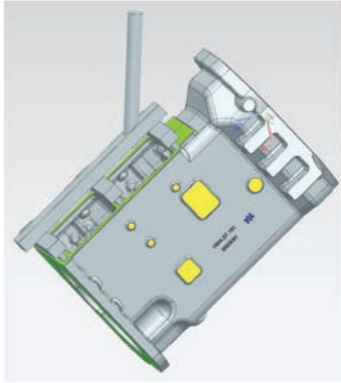


图10 优化后的工艺
Fig. 10 Optimized process

4.1 模样制作

珠粒预发泡密度要求： $(25 \pm 1) \text{ g/L}$ 。白模成形的工艺参数：冷却水 $\leq 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ，压空 $0.45 \sim 0.6 \text{ MPa}$ ，系统液压力固定在 0.5 MPa 。

4.2 组型方案

工艺方案：采用1箱1件方案，铁液从上部进入，顶端加溢流块。如图12所示。

4.3 白模施涂及黄模烘干

白模施涂采用浸涂工艺，涂料的波美度：第一遍 $69 \sim 71$ ，第二遍 $67 \sim 69$ ，第三遍 $65 \sim 67$ ；施涂过程如图13所示。

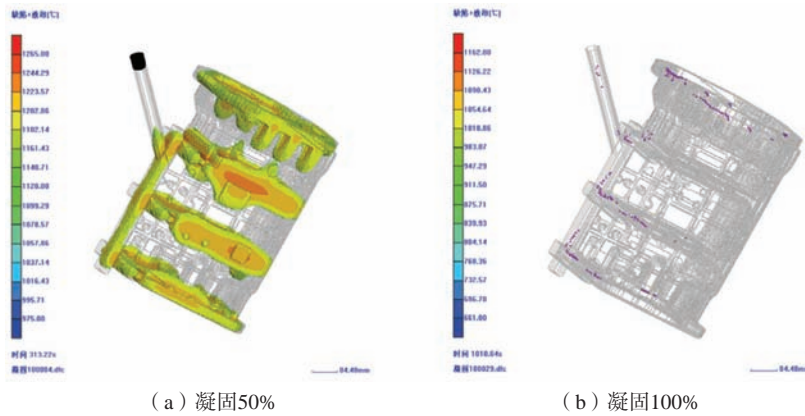
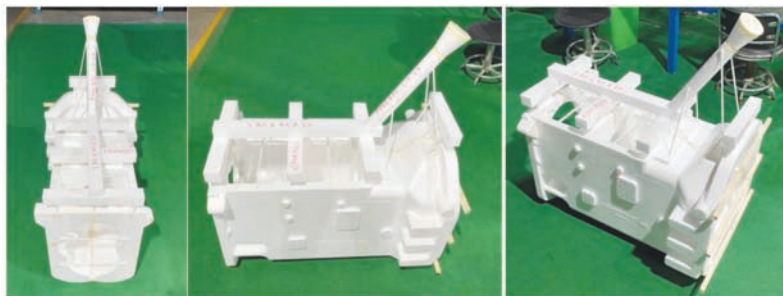


图11 优化方案数值模拟结果
Fig. 11 Numerical simulation results of optimization scheme



(a) 组型方案视图1 (b) 组型方案视图2 (c) 组型方案视图3

图12 组型方案

Fig. 12 Pattern assembly scheme



图13 施涂涂料
Fig. 13 Coating

黄模加热烘干，待烘房温度达到 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 后，开始记录烘干时间，烘干时间 $\geq 12 \text{ h}$ 。烘房温度 $40 \sim 55 \text{ }^\circ\text{C}$ 。黄模烘干后，对黄模表面存在的露白进行补刷涂料，对黄模浇道内浇道、黄模表面凹窝等型砂不易充填部位进行补刷涂料，增加涂层强度。成品黄模质量变化 $\leq 5 \text{ g}$ 视为烘干。

4.4 造型浇注及清理

造型方式如图14所示。装箱数量为1箱1件，底砂厚度 100 mm ，面砂厚度 30 mm ，浇注温度 $1490 \sim$



图14 黄模装箱造型

Fig. 14 Yellow mold packing modeling

1 510 ℃，负压强度5.5~6 MPa，单箱设计浇注时间90 s，保压时间 \geq 20 min。

经过抛丸清理，铸件表面质量良好，未见明显缺陷（图15）。端面硬度HB180~190。

4.5 模型对比

采用三维扫描仪对样件毛坯进行扫描，得到毛坯的三维模型，通过毛坯的三维模型和理论三维模型全尺寸对比检测毛坯的变形及加工余量情况，结果如图16所示。

经过对比，毛坯三维模型和理论模型几乎完全吻合，未发现有较大变形量的部位，其变形量在工艺控制范围内。

5 加工鉴定

为了进一步验证样件毛坯的变形及加工情况，将样件毛坯进行加工鉴定，结果显示样件变形量较小，在工艺控制范围内，未见其他缺陷，样件合格。加工成品如图17所示。



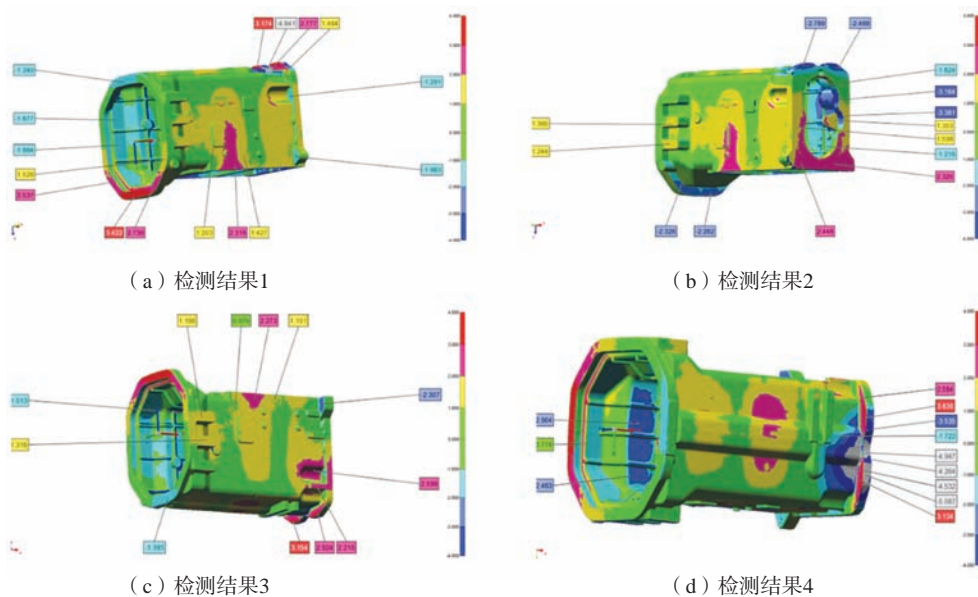
(a) 铸件视图1

(b) 铸件视图2

(c) 铸件视图3

图15 铸件毛坯

Fig. 15 Casting blank



(a) 检测结果1

(b) 检测结果2

(c) 检测结果3

(d) 检测结果4

图16 铸件毛坯和三维模型对比检测结果

Fig. 16 Comparison test results of casting blank and 3D model



图17 铸件加工成品
Fig. 17 Finished castings

6 结束语

大型HT250壳体类零件消失模铸造难度大，但是其生产成本远低于砂型铸造，通过系统性的开发研究，成功开发出该传动箱壳体的消失模铸造工艺，对降低整机成本有非常重要的意义。在工艺开发过程中采用数值模拟技术对拟定铸造工艺方案进行优化设计可有效地减少试验次数、降低试制成本、缩短试制周期。采用毛坯模型和理论模型对比的方式，在虚拟环境下即可直观地判断铸件的变形情况及加工余量大小情况，可提前预判毛坯能否满足加工条件，减少资源浪费。

参考文献:

- [1] 邓宏运, 阴世河, 章舟, 等. 消失模铸造及实型铸造技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 32-34.
- [2] 张雷雷, 李锋军, 蔡安克, 等. 消失模铸造充型过程模拟仿真的虚拟现实可视化应用[J], 铸造, 2015, 64 (6): 550-551, 554.
- [3] 邹泽昌, 陈忠士, 蓝敏俐, 等. 大口径薄壁球铁水表壳消失模铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2018, 67 (12): 1072-1075.
- [4] 朱丽娟, 杜德喜, 董秀奇, 等. 消失模铸造浇注系统的选择 [J]. 铸造, 2006, 55 (12): 1319-1321.

Process Development of Lost Foam Casting Technology for Large-Sized and Thin-Walled Shell Parts

ZHANG Jie-qiong¹, HE Shuai-wei², LI Zong-liang², LI Lu¹, LÜ Le-hua¹, XUAN Shi-cheng²

(1. First Tractor Company Limited, Luoyang 471004, Henan, China; 2. YTO Casting & Forging Co., Ltd., Luoyang 471003, Henan, China)

Abstract:

Based on the analysis of the structure and EPC process of a tractor transmission box, three kinds of EPC process schemes were designed. The advantages and disadvantages of each scheme were analyzed by numerical simulation, and the process was optimized. Combined with the actual situation of production, the process experiment was carried out by using the inclined mold assembly scheme, and the feasibility of the process plan was verified by comparing the three-dimensional model of the experimental sample and processing identification. The experimental results show that the casting deformation is effectively controlled by the process scheme, and no other defects are found.

Key words:

HT250; lost foam casting; shell body; numerical simulation; deformation