

壳体压铸工艺设计及优化

张国强¹, 赵占西¹, 勾 健², 王秋雨¹, 李湖涛³

(1. 河海大学机电工程学院, 江苏常州 213022; 2. 芜湖美的厨卫电器制造有限公司, 安徽芜湖 241000;
3. 常州市永顺模具厂, 江苏常州 213022)

摘要: 根据壳体的结构特点对其进行压铸工艺设计。通过对两种浇注系统利用ProCAST软件进行数值模拟, 分析了缩孔、缩松产生的位置及原因, 通过对比选择一种较优的浇注系统进行压铸工艺优化。结果表明, 经过工艺优化, 铸件无缩孔、缩松缺陷, 且经过生产验证, 满足技术要求。

关键词: 壳体; 压铸工艺; 数值模拟; 工艺优化

压铸是一种自动化程度较高, 且能大量生产形状复杂零件的铸造技术^[1], 其生产出的铸件具有致密性良好、精度较高、加工余量少、力学性能优良等优点, 在汽车、机械装备等领域中得到了广泛应用^[2-3]。而机壳壳体是汽车零部件安装的重要载体, 其壁厚较薄, 但对其力学性能、精度、气密性要求较高, 且需要大批量生产, 因此压力铸造成为制造壳体最好的选择。

在本研究中, 通过对铸件的结构进行分析, 设计了铸件的浇注系统, 并利用ProCAST软件对其进行模拟, 通过分析模拟结果, 对工艺进行优化, 消除其存在的缩孔、缩松等缺陷问题, 从而得到了满足壳体技术要求的压铸工艺。

1 壳体结构

研究的铸件为某公司生产的用于汽车零部件的机壳壳体, 其三维造型示意图如图1所示, 其中深色区域为铸件的加工面, 加工余量为0.5 mm, 铸件的轮廓尺寸为103 mm × 98 mm × 89 mm, 铸件体积为234 108 mm³, 质量为632 g, 最厚壁5.5 mm, 最薄壁2.5 mm, 平均壁厚3 mm。铸件材料为具有较好流动性、良好气密性、高耐磨性的Al-Si-Cu系合金YL113, 其合金成分如表1^[4]所示。铸件要求表面光洁, 起模斜度不超过1.5°, 铸件收缩率为0.6%, 内部无缩孔、缩松等缺陷。

2 压铸工艺设计

在模具设计中, 压铸工艺最为重要, 直接影响铸件的质量、生产成本、模具制造难易程度等。压铸工艺包括分型面的选择、浇注系统的设计、溢流和排气系统的设计。

2.1 分型面的选择

机壳壳体形状比较复杂, 需要设置抽芯机构, 故模具制造较难, 因此铸件采用一模一腔的铸造方式。根据分型面选择的最基本原则^[4]: 选择铸件投影面积的最大区域。本铸件有两种分型面设置方法, 如图2所示, 采用分型面a, 只需设置一个抽芯机构, 但铸件型腔较深, 型芯包紧力较大, 铸件不易脱出; 其次铸件壁较薄, 不易设置推出机构。采用分型面b, 铸件需设置多个抽芯机构, 模具制造复杂, 但是铸件上下基本对称, 铸件充型平稳, 其次方便设置推出机构, 有利于溢流槽和排气槽的设置, 更能满足压铸工艺要求, 故本铸件选择分型面b。

作者简介:

张国强(1993-), 男, 硕士生, 研究方向为模具设计。电话: 15295755501, E-mail: 1377314630@qq.com

中图分类号: TG249.2
文献标识码: B
文章编号: 1001-4977(2020)05-0501-05

收稿日期:

2019-05-27 收到初稿,
2019-07-08 收到修订稿。

2.2 浇注系统的设计

浇注系统设计方案的三维示意图如图3所示。

2.2.1 内浇口设计

内浇口可分为：扁平内浇口、端面侧浇口、中心内浇口、环形内浇口等^[6]。本壳体属于圆筒类，为了避免金属液直接冲击型芯和粘附现象的产生，两种浇注系统都采用环形内浇口切向进料，即在铸件一旁设置环形浇道，金属液充满环形浇道后进入型腔，这样金属液就可以在环形圆周上得到大致相同的速度，使金属液充型平稳，型腔内的气体容易排出。其次也可以在内浇口上设置推杆避免在铸件上有推杆的痕迹。

内浇口的截面积按公式(1)计算。

$$A_g = \frac{V}{vt} \quad (1)$$

式中： A_g 为内浇口的截面积， mm^2 ； V 为压铸件与溢流槽的体积之和， mm^3 ； v 为内浇口处金属液的充填速度， m/s ； t 为型腔的充型时间， s 。对于铝合金来讲，内浇口的速度一般取 $20 \sim 60 \text{ m/s}$ ，平均壁厚为 3 mm 的铸件充型时间为 $0.028 \sim 0.04 \text{ s}$ ^[5]，内浇口壁厚为 $1.5 \sim 2.5 \text{ mm}$ 。取充填速度为 40 m/s ，充型时间 0.03 s ，内浇口壁厚 2 mm 。计算得内浇口的截面积 $A_g=223.6 \text{ mm}^2$ ，内浇口宽度为 111.8 mm ，设置四个方向进料，平均每个内浇口宽度为 28 mm 。设置的环形浇道外径 106 mm ，内径 86 mm ，厚度 20 mm 。

2.2.2 横浇道设计

横浇道是金属液从直浇道到内浇口的过渡通道，对于不同的压铸件横浇道有不同的结构形式，而对于圆筒类形状的铸件，采取圆弧收缩式结构。为了防止金属液在流动时产生负压，横浇道的截面积应逐渐减小。本研究采用卧式冷室压铸机，其横浇道的深度按公式(2)计算。

$$D = (5 \sim 8) T \quad (2)$$

式中： D 为横浇道深度， mm ； T 为内浇口厚度， mm 。

取 $D=10 \text{ mm}$ ，由于横浇道切向进料，横浇道最小宽度为 20 mm ，为了便于铸件更好脱模，设置横浇道的起模斜度为 15° 。

2.2.3 直浇道设计

直浇道是金属液从压铸机进入型腔的首要通道，其大小与压铸机的压室直径有关，本研究压室直径选取 60 mm ，余料厚度设置为 10 mm ，起模斜度为 10° 。

2.3 溢流槽的设计

根据设计原则，溢流槽一般设置在金属液汇合、型腔附近难以排气的地方^[5]。本铸件上下分型，故在分



图1 铸件三维造型示意图

Fig. 1 Three-dimension model of shell casting

表1 YL113合金成分

Table 1 Chemical composition of YL113 $w_B / \%$

Si	Cu	Mn	Fe	Ni	Mg	Zn	Pb	Sn	Al
9.6 ~ 12	1.5 ~ 3.5	≤ 0.5	≤ 1.2	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 0.1	≤ 0.1	余量

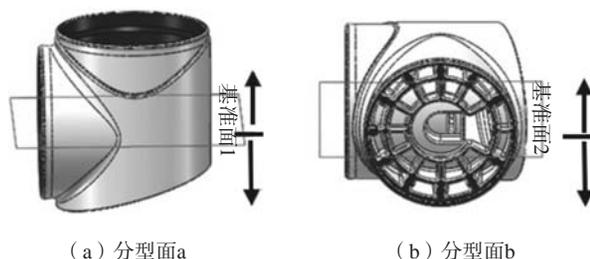
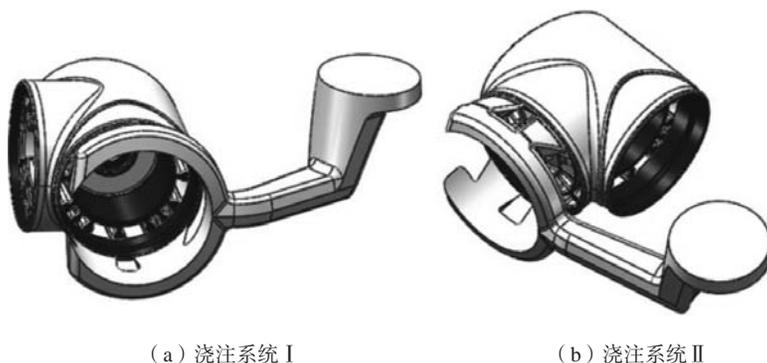


图2 铸件分型面示意图

Fig. 2 Schematic diagram of two kinds of parting surface



(a) 浇注系统 I

(b) 浇注系统 II

图3 浇注系统三维示意图

Fig. 3 Three-dimension model of two different gating systems

型面处会有金属液汇合, 因此对于两种浇注系统都需要在分型面处设置溢流槽; 其次为了防止环形浇道的金属液发生回流, 两种浇注系统都需在环形浇道两边各设置一个溢流槽。而由图2b可知, 铸件正前方壁厚较厚, 为充分排除气体和夹杂, 故对浇注系统I, 在左右两侧各设置1个溢流槽。浇注系统I、II溢流槽三维示意图分别如图4a、b所示。

3 数值模拟与优化

将三维造型导入模拟软件ProCAST中进行网格划分, 设置铸件网格单元尺寸为2 mm, 模具网格单元尺寸为10 mm。

3.1 工艺参数的设置

设置模拟工艺参数: (1) 铸件材料为欧洲标准的ENAC-41600 (YL113), 模具材料为H13; (2) 金属液浇注温度推荐值如表2所示, 本研究取620 °C, 模具预热温度为220 °C^[5]; (3) 模具与铸件的传热系数为1 000 W/(m²·K)^[6]; (4) 金属液的充填速度为3 m/s, 铸件采用空冷方式冷却。

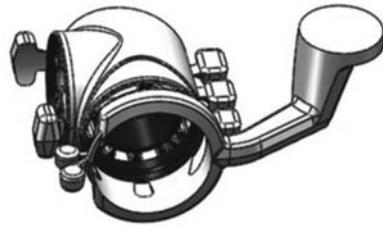
3.2 初步工艺方案模拟

浇注系统I的充型过程见图5。可以看出, 充型32.7%时, 金属液开始流向内浇口; 充型52.4%时, 金属液流向铸件底部, 并有少量金属液开始流向溢流口; 充型74.2%时, 铸件轮廓几乎充填完成, 少量金属液流向溢流口; 充型96.85%时, 铸件轮廓充填完成, 金属液流向溢流槽。从整个充型过程中可以看出, 金属液充型平稳, 金属液从直浇道流向横浇道, 再流向环形内浇口, 最后充型的部位为储存冷污金属液和空气的溢流槽, 金属液流向正确, 浇注系统I设置合理。

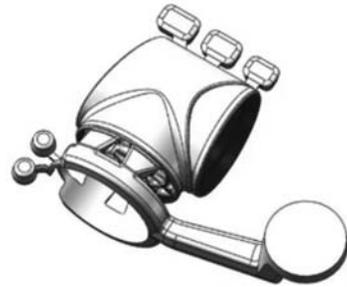
图6为浇注系统II的充型过程。由图知, 当充型34.5%时, 金属液开始从环形内浇口流向铸件; 充型55.6%时, 金属液从四个方向流向铸件的端部, 少量金属液开始流向溢流口; 充型76.8%时, 铸件轮廓几乎充型完成, 金属液流向溢流槽; 充型96.8%时, 金属液充填溢流槽, 储存冷污金属液。整个充型过程, 金属液流动平稳, 无飞溅现象, 金属液从环形内浇口流向铸件, 最后充填溢流槽, 金属液流向正确, 浇注系统II设置合理。

浇注系统I、II铸件完全凝固时的温度场见图7, 可以看出两种浇注系统铸件在侧壁中间部分温度较高, 其原因是铸件中间部分内设加强筋, 铸件壁厚较厚, 在凝固过程中散热较慢, 易产生热节, 预测此部位会产生缩孔、缩松缺陷。

图8为铸件采用浇注系统I所产生的缩孔、缩松缺陷。铸件产生缺陷集中的地方是铸件加强筋壁厚较大



(a) 浇注系统I溢流槽



(b) 浇注系统II溢流槽

图4 溢流槽三维示意图

Fig. 4 Three-dimension model of overflow well

表2 铝合金浇注温度
Table 2 Pouring temperature of aluminum alloy /°C

合金元素	铸件壁厚 /mm	铸件结构	
		简单	复杂
含Si	≤3	610 ~ 630	640 ~ 680
	>3	590 ~ 630	610 ~ 630
含Cu	≤3	620 ~ 650	640 ~ 700
	>3	600 ~ 640	620 ~ 650

的地方, 其原因是铸件在此区域凝固时温度较高, 金属液凝固较慢, 凝固速率不均匀, 此时会产生细小的孔洞被孤立, 从而在完全凝固时得不到金属液的补缩, 出现缩孔、缩松缺陷。

采用浇注系统II的铸件缺陷示意图如图9所示, 也在铸件壁厚的地方出现缩孔、缩松缺陷, 且比采用浇注系统I产生的缩孔、缩松缺陷多, 其原因是浇注系统II的内浇口离铸件壁厚的地方近, 而浇注系统I内浇口离铸件壁厚地方较远。因此在铸件壁厚区域, 采用浇注系统II比采用浇注系统I的温度高, 在铸件凝固时, 产生的因凝固速率不均匀而被孤立的细小孔洞变多, 在完全凝固时, 产生的缩孔、缩松缺陷多。因此对于两种浇注系统, 采用浇注系统I, 铸件的缺陷较少, 工艺较优。

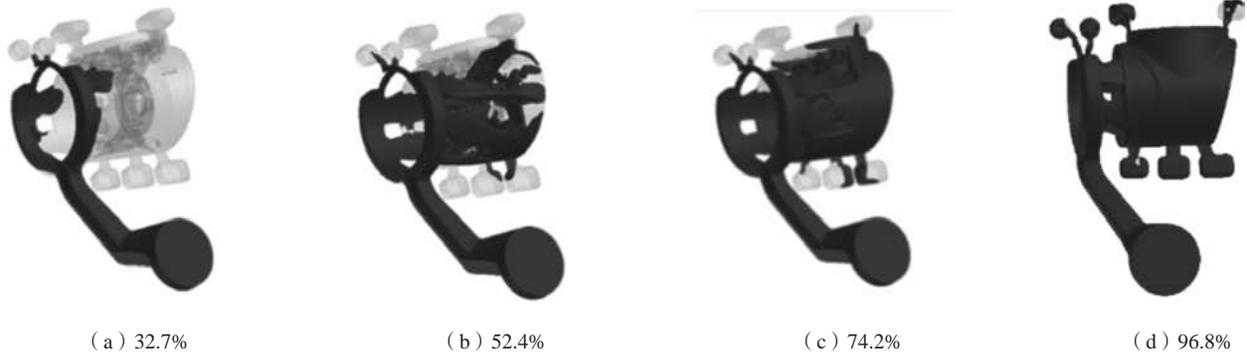


图5 浇注系统I充型过程示意图

Fig. 5 Schematic diagram of filling process of gating system type I

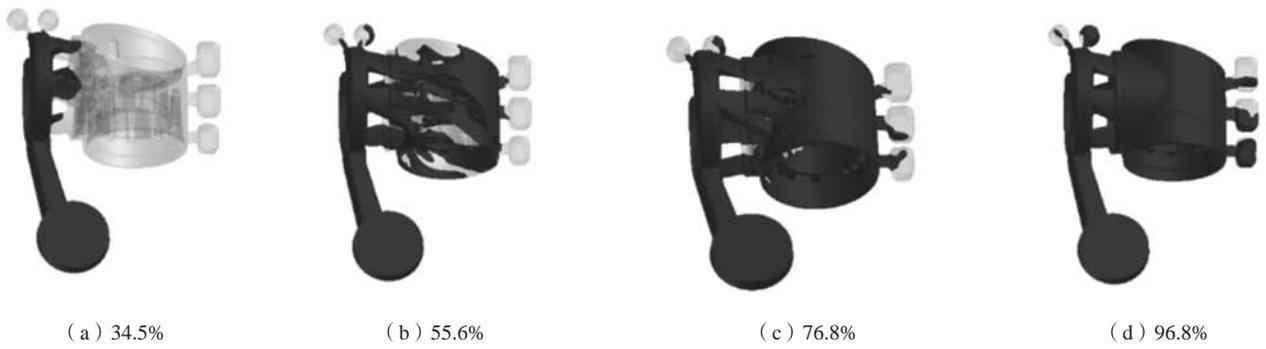
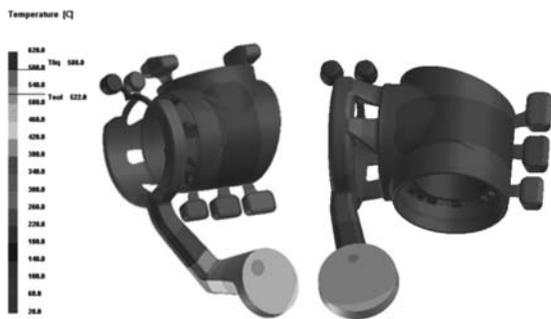


图6 浇注系统II充型过程示意图

Fig. 6 Schematic diagram of filling process of gating system type II



(a) 浇注系统I (b) 浇注系统II

图7 铸件完全凝固后的温度场

Fig. 7 Temperature filed after casting solidification

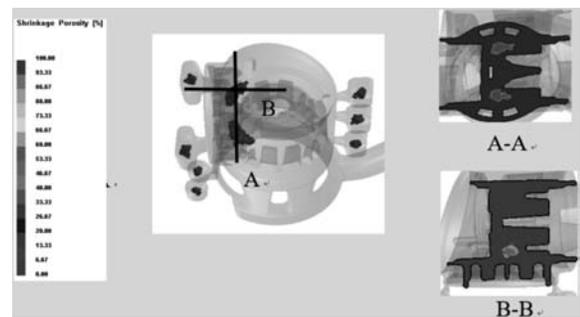


图8 浇注系统I缺陷示意图

Fig. 8 Defects positions in gating system type I

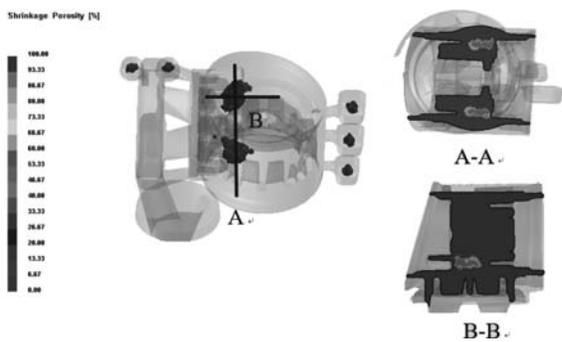


图9 浇注系统II缺陷示意图

Fig. 9 Defects positions in gating system type II



图10 优化方案三维图

Fig. 10 Three-dimension model of optimized die casting process

3.3 工艺优化

为了使铸件在壁厚处凝固均匀,本研究在铸件产生的缩松、缩孔区域正下方设置了冷却水道,并在缩松、缩孔区域集中的地方设置两个溢流槽,使其充分排除气体和夹杂,转移缩松位置,其优化后的工艺方案如图10所示。优化后工艺参数设置其冷区水道与模具的换热系数为 $2\ 000/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,其他参数不变。

工艺优化后的缩孔、缺陷见图11。可以看出,铸件在加强筋壁厚处无缩孔、缩孔缺陷,满足技术要求。说明初步设计工艺产生的缺陷是铸件冷却不均匀造成。

3.4 生产验证

图12为采用浇注系统I优化后生产的壳体铸件。通过检测,发现其内部无缩孔、缩松缺陷,表面无裂纹,满足力学性能要求,且达到尺寸精度、气密性要求,已大批量生产。

4 结论

(1) 根据壳体的结构,设计了铸件的两种浇注系统,并利用ProCAST软件对其进行数值模拟,结果显示铸件在壁厚处产生缩孔、缩松缺陷;内浇口设置在铸件壁厚较远的地方产生的缩孔、缩松缺陷较少。分析发现铸件产生缩孔、缩松的原因是铸件在壁厚处凝

参考文献:

- [1] KWON H J, KWON H K. Computer aided engineering (CAE) simulation for the design optimization of gate system on high pressure die casting (HPDC) process [J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2019, 55: 147-153.
- [2] 李平, 彭学周, 欧阳维强. 铝合金壳体的压铸工艺优化设计 [J]. *铸造*, 2015, 64 (11): 1082-1084.
- [3] 宋政聪, 米国发, 周志杰, 等. 铝合金散热片压铸工艺设计与数值模拟优化 [J]. *特种铸造及有色合金*, 2018 (1): 45-48.
- [4] 王鹏驹, 殷国富. 压铸模具设计师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [5] 江昌勇. 压铸成形工艺与模具设计 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
- [6] 徐秋湘, 赵占西. 工艺参数对铝合金梯级铸件压铸过程的影响 [J]. *特种铸造及有色合金*, 2018, 38 (5): 57-60.

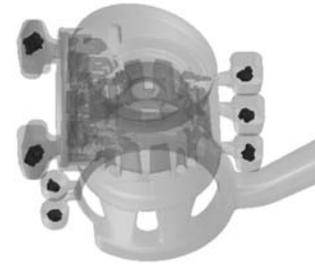


图11 优化后的缩孔、缩松示意图

Fig. 11 Positions of shrinkage hole and shrinkage porosity defects after the process optimized

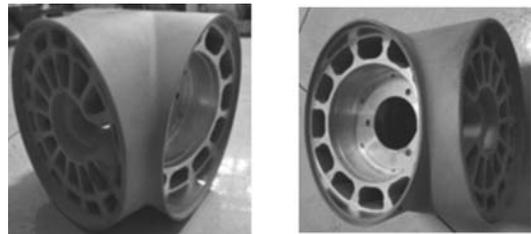


图12 铸件实物图

Fig. 12 Castings produced using optimized process

固不均匀,部分区域被孤立得不到补缩。

(2) 通过工艺优化,使得铸件无缩孔、缩松缺陷,并采用优化后的工艺进行生产验证,通过检测发现铸件内部无缩孔、缩松缺陷,且满足技术要求,可以用于指导类似铸件压铸工艺设计。

Design and Optimization of Shell Die Casting Process

ZHANG Guo-qiang¹, ZHAO Zhan-xi¹, GOU Jian², WANG Qiu-yu¹, LI Hu-tao³

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, Jiangsu, China; 2. Wuhu Midea Kitchen & Bath Appliances Manufacturing Co., Ltd., Wuhu 241000, Anhui, China; 3. Changzhou Yongshun Mold Factory, Changzhou 213022, Jiangsu, China)

Abstract:

Based on the structure feature of the shell, design of die casting process was conducted, and two different gating systems were designed and simulated by using the ProCAST software. By comparison and analysis of the position and reasons of occurrence of shrinkage hole and shrinkage porosity, a better gating system was chosen, and then the die casting process was improved. The castings produced using the optimized die casting process had no shrinkage hole and shrinkage porosity, meeting technical requirements.

Key words:

shell; die casting process; numerical simulation; process optimization