

铝合金后端盖压铸工艺优化及局部挤压设计

李光浩¹, 董超奇^{2, 3}, 卢信学^{2, 3}, 孙宝寿^{2, 3}, 束学道^{2, 3}

(1. 宁波博大机械有限公司, 浙江宁波 315211; 2. 宁波大学机械工程与力学学院, 浙江宁波 315211;
3. 浙江省零件轧制成形技术研究重点实验室, 浙江宁波 315211)

摘要: 分析了铝合金后端盖铸件结构工艺性, 根据压铸工艺经验公式设计了浇注系统。采用 Flow-3D 软件进行数值模拟, 发现后端盖铸件悬置孔区域不能实现金属液顺序充填。根据数值模拟结果修改浇注系统设计并进行实际生产, 铸件厚壁区域产生缩孔缺陷。针对厚壁区域设计局部挤压工艺, 在其凝固过程中进行挤压补缩, 消除了后端盖铸件悬置孔部位缩孔缺陷。

关键词: 铝合金; 压铸; 后端盖; 数值模拟; 工艺优化; 局部挤压

国内压铸件产品呈现多元化特征, 涵盖领域包括汽车、通讯、五金、玩具、家电、航空等。目前国内每年压铸件产量约210万吨, 其中铝合金压铸件占总产量的3/4。ADC12铝合金压铸件具有成品率高、密度小、强度高、加工性能好等特点, 适合大批量生产, 广泛应用于新能源汽车和电子通讯领域^[1]。铝合金后端盖是新能源汽车驱动电机的重要部件, 它既是电机外壳的一部分, 又兼有轴承座功能, 需具备足够强度和刚度以支撑转子运动, 同时容纳轴承供油的油路和电子控制的线路。

1 产品结构分析

后端盖结构如图1所示, 材质ADC12, 属于Al-Si-Cu系铝合金。压铸件壳体区域壁厚5 mm, 结构复杂, 中心有一处直径为60 mm的轴承孔, 背面有5处直径29 mm的厚大悬置孔, 容易产生缩孔、缩松缺陷。

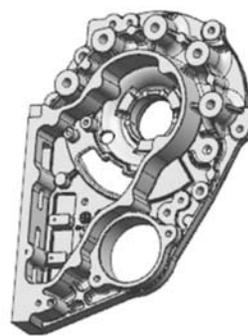


图1 后端盖压铸件结构

Fig. 1 Structure of rear end cover die casting

2 压铸工艺设计

2.1 分型面选取

分型面设计如图2所示。为了从型腔中顺利取出后端盖压铸件, 在铸件最大截面处设置分型面, 并综合考虑包紧力的影响, 使压铸件在开模后留在动模处, 利用动模上的顶杆推出工件。

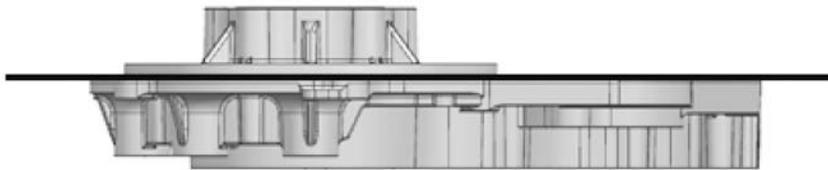


图2 分型面设置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of parting surface setting

作者简介:

李光浩(1976-), 男, 研究生, 主要研究方向为新能源汽车压铸一体化模具技术等。电话: 18868982500, E-mail: liguanghao1@126.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

02-0216-04

基金项目:

宁波市北仑区科技创新团队(2020BL0003)。

收稿日期:

2023-07-06 收到初稿,

2023-09-20 收到修订稿。

2.2 浇注系统设计

后端盖圆盘侧有5处悬置孔，壁厚较厚，是气孔和缩孔发生的高风险区域，因此模具设计时优先将内浇道布置在该处，以提高此区域的补缩效果。同时，该处结构复杂难以排气，优先填充该区域使冷料流向末端，可减少卷气缺陷。内浇道截面按流量经验公式(1)计算^[2]：

$$A_g = \frac{G}{\rho v_g t} \quad (1)$$

式中： A_g 为内浇道截面积； G 为通过内浇道的金属液质量，根据3D模型测算为2 983 g； ρ 为金属液密度，取2.4 g/cm³； v_g 为内浇道处金属液的充填速度，取40 m/s； t 为充型时间，取0.05 s；计算得内浇道截面积为621 mm²。

横浇道厚度尺寸过小会降低金属液温度，过大则冷却速度缓慢，影响生产率，增大金属消耗。横浇道厚度由经验公式(2)确定：

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

式中： D 为横浇道厚度， T 为内浇道厚度，取 $D=25$ mm。横浇道的截面积形状设计为扁梯形，截面积大小从直浇道到内浇道保持均匀渐缩变化。

2.3 溢流系统设计

溢流系统能够及时地收集冷污金属液，排出型腔中的气体，抵消涡流，对铸件起到部分补缩作用。考虑到充填距离较长，金属液抵达型腔尾部时热量损失大，因此在金属液最后充填的位置设置多道溢流槽。完整的浇注系统与溢流系统设计如图3所示。

3 数值模拟与工艺优化

3.1 前处理

采用Flow-3D软件对设计的压铸工艺进行数值模拟验证。将计算域内三维几何模型以stl格式导入软件中，设置网格单元尺寸为0.15 cm，模具材料设为H13，压铸件材料设为ADC12，流动模式设为紊流模型，工艺参数的设置见表1。

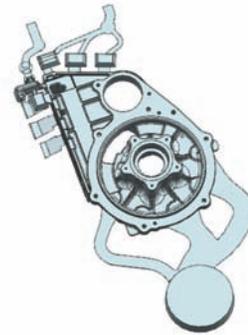


图3 后端盖铸件压铸工艺

Fig. 3 Die casting process of rear end cover casting

表1 工艺参数

Table 1 The process parameters

快压射速度	慢压射速度	充型温度	模具预热温度
4 m/s	0.15 m/s	660 °C	220 °C

3.2 初始方案

充型过程数值模拟结果如图4所示。从图中可以看出， $t=0.3578$ s时刻，金属液首先从中间的内浇道进入型腔； $t=0.3578$ s时刻，3个横浇道的金属液在中心汇流； $t=0.3889$ s时刻，整个型腔的轮廓大部分填充完毕； $t=0.3966$ s时刻，整个铸件基本填充完毕。从金属液进入内浇道开始到填充完成，产品填充全程时间为0.0388 s。从图4d可以看出，A区域标记的悬置孔未完成充填，此时该区域周围已经被金属液包围，卷入该处的气体将难以排出，需要对浇注系统进行优化。

3.3 优化方案

根据铸件的结构特点和初始工艺方案数值模拟结果，将中间的内浇道分为两支，调整进料的角度有利于优先充填铸件前端的厚壁区域。优化后的内浇道设计如图5所示。

浇注系统优化后铸件充型过程数值模拟结果如图6所示，由图可见， $t=0.3694$ s时刻，金属液通过内浇

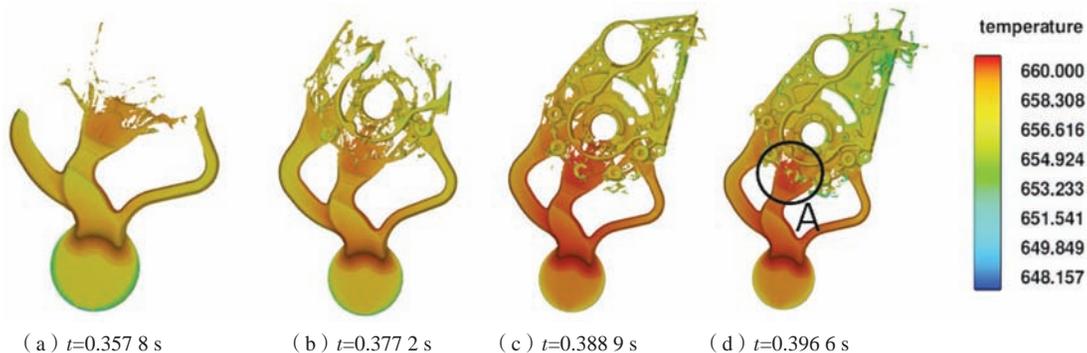


图4 充型过程数值模拟结果

Fig. 4 Numerical simulation results of mold filling process

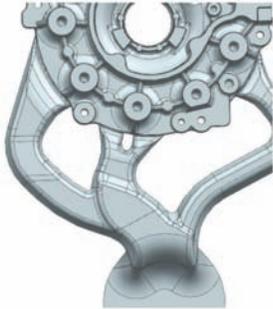


图5 优化后的浇注系统
Fig. 5 The optimized gating system

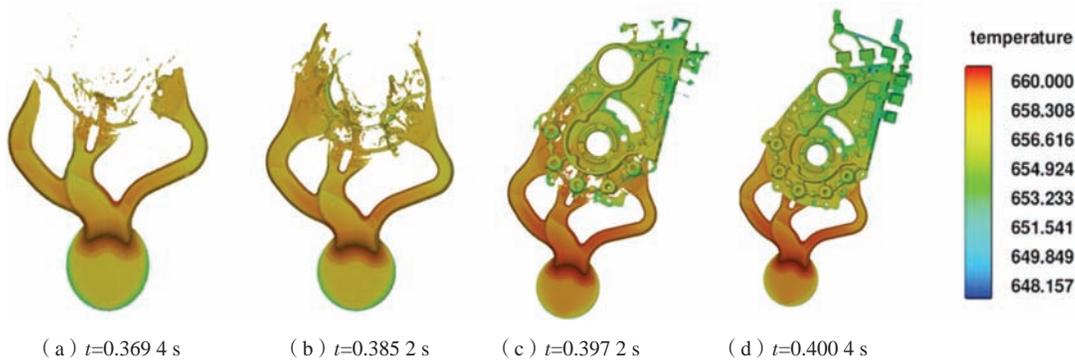


图6 优化浇注系统后充型过程数值模拟结果

Fig. 6 Numerical simulation results of mold filling process after gating system optimization

材料选择ADC12，压铸机为DCC800T卧式冷室压铸机，压铸过程中对模具型腔抽真空，以减少铝液流动过程夹杂和气体卷入量，提高填充质量。经X射线无损探伤检测发现，产品部分位置存在较多缩松，如图7所示。分析该缺陷产生的原因是此处壁厚尺寸较大，凝固较晚，中心热节补缩不足。综合考虑模具结构与生产实际情况，确定采用局部挤压工艺进行优化。

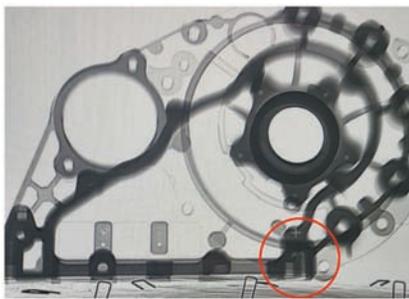


图7 无损探伤结果
Fig. 7 Non-destructive inspection results

局部挤压是在模具中增加挤压销，通过油缸推动挤压销，对铸件缩孔部位加压，强制补缩，可获得高品质的压铸件^[3]。挤压位置如图8所示，设置两支直径分别为9 mm与6 mm的挤压销。

挤压油缸直径的选取由式(3)确定^[4]：

道开始充填型腔； $t=0.385\ 2\ \text{s}$ 时刻，开始充填中心轴承孔位置，金属液流动平稳； $t=0.392\ 7\ \text{s}$ 时刻，首先进入型腔的金属液进入溢流槽，将夹杂的气体与氧化物带入溢流槽，此时压铸件基本充填完毕，与初始工艺相比，有缺陷的悬置孔区域充型状况良好； $t=0.400\ 4\ \text{s}$ 时刻充型完毕，充型过程时长约为 $0.031\ \text{s}$ ，金属液充填顺序良好，铸件轮廓清晰。

4 局部挤压工艺

根据优化工艺设计制备模具并进行试产，铝合金

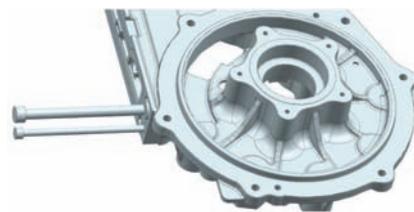


图8 局部挤压设计
Fig. 8 Design of local extrusion

$$P_{\text{系统油压}} S_{\text{油缸}} = P_{\text{挤压}} S_{\text{挤压销}} \quad (3)$$

产品制造采用力劲DCC800T压铸机，该设备的 $P_{\text{系统油压}}$ 为14 MPa， $P_{\text{挤压}}$ 的数值为铸造应力的3~4倍^[5]，取360 MPa， $S_{\text{挤压销}}$ 为挤压销截面积，计算得油缸内径为57 mm。考虑到挤压过程中挤压销与挤压套间有一定滑动间隙，铝屑容易进入，造成摩擦力增大，将油缸内径向上选取为80 mm，以克服运动阻力和机械能消耗^[6]。

挤压延迟时间是充型完成后至局部挤压开始的时间，在铸造过程中，当金属液处于半固态状态时开始挤压可以获得最佳的挤压效果。挤压持续时间是指挤压销开始挤压直到回退时所持续的时间^[7]。通过试验，确定延迟时间为1.5 s，持续时间为10 s。

对模具结构优化后进行生产，经检验，设置局部挤压后的压铸件产品质量良好，X射线探伤结果如图9所示，无明显孔洞缺陷。

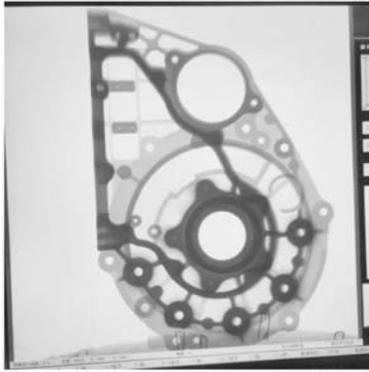


图9 工艺优化后铸件无损探伤结果

Fig. 9 Non-destructive inspection result of casting after process optimization

5 结束语

(1) 通过对铝合金后端盖结构工艺性分析、压铸工艺设计和数值模拟优化,并采取改变内浇道数量和角度工艺措施,实现了金属液顺序填充。

(2) 在厚壁区域设计局部挤压工艺,延迟时间1.5 s,持续时间10 s,消除了该区缩孔缺陷,得到合格铸件。

参考文献:

- [1] 闫俊,程汉明,石帅,等.压铸ADC12铝合金手机中框热裂分析及解决措施[J].铸造,2021,70(9):1088-1092.
- [2] 韩凤梅,齐卫东.压铸工艺与模具设计[M].北京:北京理工大学出版社,2019:86-88.
- [3] 崔少朋,李朝兴,苏文平.局部挤压在压铸铝合金变速器壳体上的应用[J].特种铸造及有色合金,2022,42(10):1312-1314.
- [4] 朱洪军.铝合金压铸制品缩孔缺陷影响因素分析及控制[D].大连:大连理工大学,2016.
- [5] 黄潇苹,朱洪军,魏巍.铝合金下缸体铸件的局部挤压技术研究[J].特种铸造及有色合金,2022,42(4):517-520.
- [6] 柯春松,唐杰,庄舰,等.八挡自动变速器主壳体压铸工艺优化[J].铸造,2022,71(8):997-1004.
- [7] 高子威.局部挤压辅助HPDC成型降低发动机支架气孔缺陷的研究[D].杭州:浙江工业大学,2016.

Die Casting Process Optimization and Local Extrusion Design of Aluminum Alloy Rear End Cover

LI Guang-hao¹, DONG Chao-qi^{2,3}, LU Xin-xue^{2,3}, SUN Bao-shou^{2,3}, SHU Xue-dao^{2,3}

(1. Ningbo Boda Machinery Co., Ltd., Ningbo 315211, Zhejiang, China; 2. Faculty of Mechanical and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Part Rolling Technology, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

Abstract:

The casting processing properties of the aluminum alloy rear end cover were analyzed, and the gating system was designed according to the empirical formula of die casting process. Numerical simulation by Flow-3D software showed that sequential filling of molten metal could not be achieved around the rear end cover suspension hole. According to the simulation results, the gating system was modified, and actual production was carried out. It was found that the thick wall area occurred shrinkage defects. A local extrusion process is designed for the thick wall area, feeding the shrinkage through extrusion during its solidification process, and the shrinkage cavity defects in the rear end cover suspension hole part were eliminated.

Key words:

aluminum alloy; die casting; rear end cover; the numerical simulation; process optimization; localized squeeze