

解决铝合金压铸件泄漏缺陷的模具优化设计

侯丽彬, 刘海影, 郭 瑞

(大连科技学院, 辽宁大连 116036)

摘要: 以一款汽车发动机曲轴箱体为例, 介绍了铝合金压铸件泄漏发生的部位, 通过密封测试“气泡”试验及对铸件缺陷部位进行剖切检查, 确定泄漏产生的原因是铸件内部有贯穿性缩孔和缩松, 利用成因分析表对缩孔根本原因进行分析, 并通过局部增压、增加型芯冷却、型腔成形表面加工散热网纹等模具优化方案, 有效地解决曲轴箱体的缩孔缺陷, 提高铝合金压铸件产品的一次合格率。

关键词: 铝合金压铸件; 缩孔; 泄漏; 局部增压; 模具冷却

压铸是将熔融状态的金属以高压高速填充模具型腔, 并在高压下进行冷却成形获得产品的过程, 随着汽车行业的迅猛发展, 压铸件的需求也在增大, 汽车发动机缸体、油底壳、缸盖罩盖、前后端盖以及变速箱的离合器壳体、变速器壳体等零件多数采用铝硅合金通过高压铸造获得毛坯, 用高压铸造方法获得的毛坯, 高压铸造方法属于近净成形工艺, 后续仅通过少量数控加工工序获得最终产品。

1 曲轴箱体的结构与缺陷形式

图1是某款汽车发动机曲轴箱体, 材料为ADC12, 铸件外形轮廓尺寸442 mm × 358 mm × 173 mm, 重量约为4.5 kg。此产品结构复杂, 一般壁厚3.0 mm, 局部功能区壁厚15~20 mm, 箱体5个面需要进行数控加工, 以满足产品的尺寸精度和装配要求。产品的密封性能要求: 腔体检测压力为100 kPa, 泄露量小于20 cm³/min; A区域有90°方向直径为12 mm的交叉油道孔, 油道孔要求检测压力为600 kPa, 泄露量小于15 cm³/min。

在实际生产中, 曲轴箱体在加工后进行密封测试, 腔体无泄漏, 高压油道在600 kPa的压力下, 有12%的零件因泄漏量超标而导致报废, 对泄漏零件的泄漏量进行数据统计, 泄漏量数值分布在15~30 cm³/min。为解决泄漏问题, 首先要确定具体泄漏位置^[1], 对零件进行“气泡”试验, 发现在图1所示K向M8孔有小气泡渗出, 确定为高压油道的泄漏点。

作者简介:

侯丽彬(1968-), 女, 高级工程师, 主要研究方向为压铸工艺及模具设计领域。电话: 0411-86245040, E-mail: houlubin_dalian@163.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)12-1631-05

基金项目:

辽宁省新能源汽车轻量化铸件数字化设计及智能制造重点实验室(编号: 2022JH13/10200058); 模具设计与压铸应用技术团队(编号: KYTD202206)。

收稿日期:

2023-03-26 收到初稿,
2023-07-05 收到修订稿。

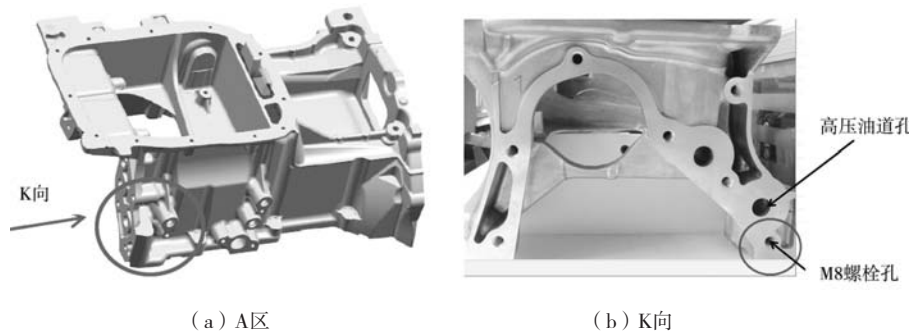


图1 曲轴箱体形状及泄漏位置

Fig. 1 Crankcase shape and leakage position

2 曲轴箱体泄漏的原因分析

2.1 泄漏原因调查

为调查曲轴箱体油道泄漏的原因，在泄漏部位侧向 $\phi 12$ mm油道孔和M8螺栓孔连线方向剖切，发现缺陷

部位在厚大壁厚处有小的缩孔和缩松，缺陷状态如图2所示。由于铸件内部有缩松现象，当后序机械加工铸件油道孔和M8螺栓孔时，将压铸件表层致密的激冷层破坏，在600 kPa的压力下沿M8螺纹孔出现微泄漏。

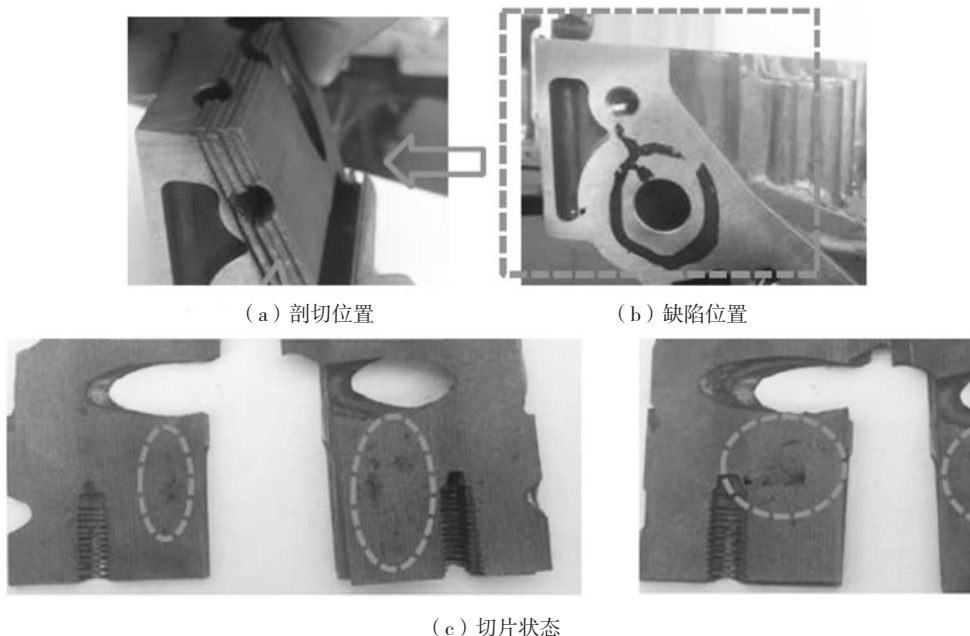


图2 缺陷部位剖切图片

Fig. 2 Sectioning pictures of defective parts

2.2 根本原因分析

压铸生产的关键要素是压铸机、压铸模、压铸合金，压铸工艺将三大要素进行有机结合^[2]。因此影响压铸件质量因素包括压铸机、压铸模、压铸合

金、压铸工艺以及压铸件的结构，采用缺陷成因对照表从以上五个因素对曲轴箱体产生缩孔、缩松的原因进行分析。缩孔缺陷的成因对照表见表2，有重大影响的是内浇道位置、增压压力、模具温度和铸件壁厚。

表2 铝合金压铸件缩孔缺陷的成因对照表

Table 2 Causes comparison of shrinkage defects in aluminum alloy die castings

铝合金		压铸模设计				压铸件结构			压铸机				压铸工艺			
浇注温度	合金成分	浇道速度	浇道形状位置	浇道尺寸	模具温度	形状	壁厚	压室充满度	压室温度	冲头直径	冲头润滑	压射速度	压射位置	增压压力	持压时间	开模时间
●●	●	●●	●●●	●●	●●●	●	●●●	●	●	●	●	●	○	●●●	●	○

注：○无影响，●稍有影响，●●有影响，●●●重大影响。

结合成因表的分析结果，对模具浇注系统的设计进行再评价，确认缺陷部位有分支浇道，能够满足金属液充填的要求及增压压力的传递。采用模拟软件用不同的压铸参数进行模拟分析，结果在缺陷部位一直存在孤立的液相区，如图3中A-A剖面所示。

综上分析确认导致曲轴箱体油道泄漏的根本原因是铸件局部壁厚厚大，铸件在压铸成形后冷却的过程中存在孤立液相区，孤立液相区继续冷却过程中无法实现增压补缩，最终形成缩孔和缩松。

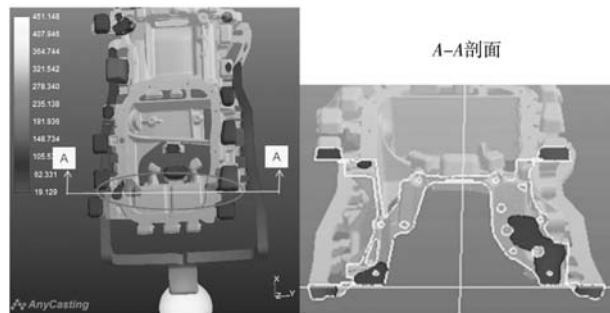
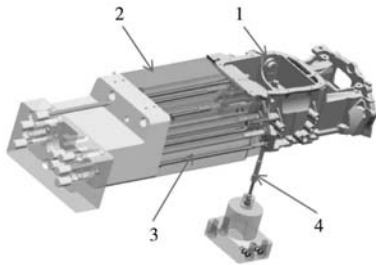


图3 模拟凝固分析

Fig. 3 Simulation analysis of the solidification process

3 解决铸件油道泄漏的模具优化设计

根据上述对曲轴箱体泄漏的根本原因分析，压铸模在铸件缺陷部位采取加设局部增压、M8预铸孔等侧向小型芯增加冷却、侧向滑块成形表面“打网纹”等优化设计，解决油道孔处缩孔缺陷。结构方案布置见图4。



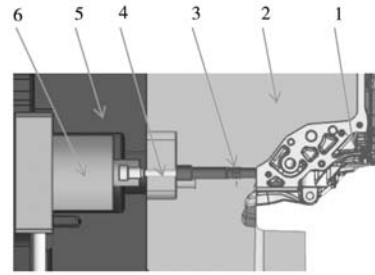
1. 铸件 2. 侧滑块总成 3. 侧芯 4. 局部增压机构总成

图4 模具优化设计

Fig. 4 Optimization design of the die

3.1 局部增压机构的结构设计

局部增压是在压铸成形后铸件冷却的过程中，对铸件局部厚大部位存在孤立液相区的位置实施局部挤压，通过液压缸推动挤压杆将预存空间内的金属液挤入铸件中进行补缩，是解决因壁厚大而产生缩孔的有效措施^[3]。曲轴箱体局部增压结构图如图5所示。根据曲轴箱体缺陷处的结构形状，将局部增压机构设计在动模，挤压油缸用螺栓固定在动模套板后端。为防止挤压杆与动模镶块的运动磨损而影响配合精度，设计挤压套零件。挤压套固定在动模镶块上，与挤压杆保证0.02 mm的配合间隙。根据孤立液相区的体积，设计挤压杆直径9 mm，最大挤压行程10 mm，挤压后与



1. 铸件 2. 动模镶块 3. 挤压套 4. 挤压杆 5. 动模套板 6. 挤压油缸

图5 局部增压机构

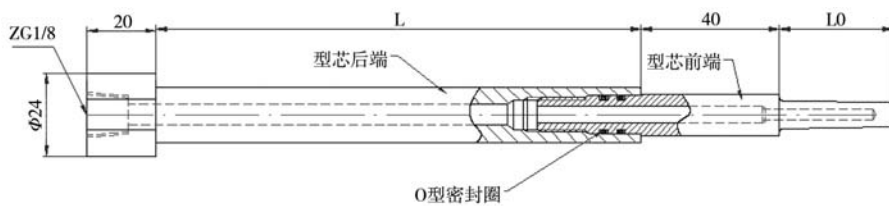
Fig. 5 Local pressurization mechanism

型腔底面平齐。按挤压杆最大挤压压力4 500 kg/cm²计算挤压缸直径应为50 mm。

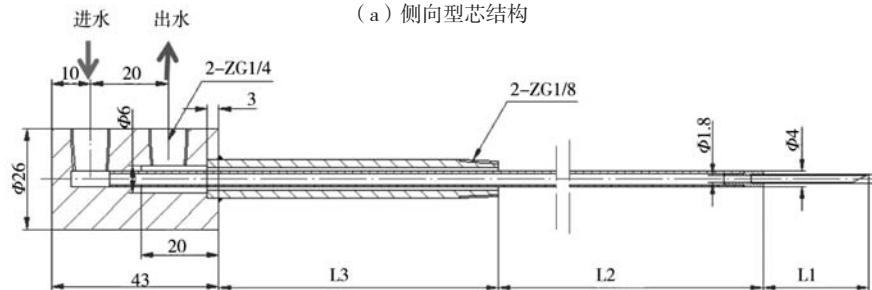
3.2 侧向型芯冷却水结构设计

由铸件结构可知，铸件在侧向除油道孔外有7处M8螺纹孔，由于M8螺纹孔的数量多，考虑在活动滑块上位置度的影响，预铸孔型芯成形处直径最大，为5.6 mm，给型芯的冷却带来困难。曲轴箱体压铸模针对侧滑块细小型芯的冷却，采用分体式冷却结构，并使用高压纯净水对型芯进行单点强制冷却。

分体式冷却结构见图6，侧向型芯采用两体式，型芯前端材料SKD61，成形处冷却水孔直径2.8 mm，使用电火花穿孔机加工，型芯后端材料H13，冷却水孔直径6 mm。前端型芯与后端型芯采用M10×1螺纹连接。冷却水密封采用O型密封圈径向静密封，材料选用氟橡胶或硅橡胶，要求工作温度200~250 ℃，工作压力15个大气压下不得泄漏。



(a) 侧向型芯结构



(b) 冷却水管总成

图6 侧向型芯冷却水设计

Fig. 6 Design of the lateral core cooling system

冷却水管采用拼接式，内喷管采用外径为2.2 mm（内径1.8 mm）和外径为4 mm的白钢管拼接，外管采用1/8"镀锌管。如图6所示，工作时冷却水从后端通过内喷管进入型芯前端，然后通过内喷管的外壁与型芯水道孔之间的空隙回水，为防止细小型芯内部冷却水堵塞，采用10 Bar的高压纯净水，对小型芯实施强制冷却。

3.3 侧向滑块局部加工散热网纹

在压铸过程中，高温金属液被压入型腔成形冷却，型腔通过与模具的热交换而冷却。压铸模具吸收高温金属液带来的热量，并通过模具冷却和外部喷

涂等方式将热量散发出去，这样才能保证模具处于热平衡状态。如果模具温度过高，会影响铸件质量和模具寿命。针对模具的局部特定部位，除了加强模具内部冷却外，还可以通过增加型腔表面积，从而增加散热面，提高散热效率。曲轴箱体油道泄漏处，由于铸件局部体积大，模具冷却和散热无法达到均衡状态，因此在侧滑块成形表面局部温度高的区域加工散热网纹，网纹深度0.63 mm，成90°交叉布置，散热网纹位置及剖面形状见图7。散热网纹低于模具成形表面并在铸件的加工表面，在后序加工侧向平面时去除，不需增加工序处理。

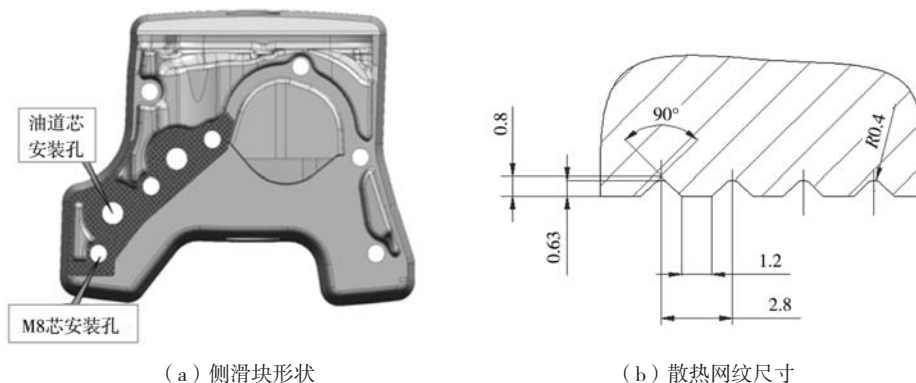


图7 成形表面散热网纹设计

Fig. 7 Design of the heat dissipation reticulation of the forming surface

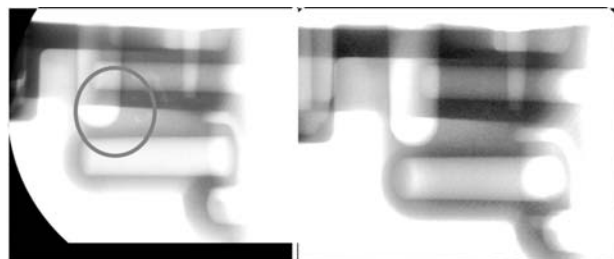
4 优化设计的验证

模具通过以上三项措施的优化后，在原生产设备上按原工艺参数进行压铸生产，油道孔泄漏部位的缩孔和缩松明显减少，M8螺纹孔的孔壁激冷层加厚，材料致密，铸件无贯穿性缩孔和缩松。模具经过大批量生产验证，产品加工后高压油道在600 kPa压力下测试，产品泄漏率降低到1%以下。模具优化后，高压油道孔处的内部质量优化见图8的X光对比图片。

5 结论

(1) 铝合金曲轴箱体在厚大壁厚处会产生缩孔、缩松缺陷，缩孔、缩松贯穿至其他加工孔则会导致铸件泄漏。

(2) 对铸件局部厚壁，冷却时存在孤立液相区，在此部位实施局部增压，可以有效地减少缩孔、缩松



(a) 优化前 (b) 优化后

图8 优化前后的高压油道孔处的X光图

Fig. 8 X-ray images of the high pressure oil passage hole before and after optimization

的产生。

(3) 小型芯可以通过分体式冷却结构进行冷却，为防止细水管堵塞，可采用高压纯净水对型芯冷却。

(4) 对模具特定区域，可以通过型腔加工网纹增加型腔表面积，从而增加散热面，提高散热效率。

参考文献:

- [1] 朱洪军, 侯丽彬. 局部挤压技术在MQ200变速器壳体上的应用 [J]. 铸造, 2020, 69 (6): 604-605.
- [2] 江昌勇. 压铸成型工艺与模具设计 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2019.
- [3] 柯春松, 庄舰, 刘红娟, 等. 基于局部增压技术的高挡位自动挡变速箱壳体压铸工艺优化 [J]. 铸造, 2014, 63 (3): 215-220.
- [4] 胡玲. 基于仿真分析解决阀盖铸件泄漏问题 [J]. 铸造, 2020, 69 (3): 301-305.

Die Optimization Design for Solving Leakage Defects of Aluminum Alloy Die Castings

HOU Li-bin, LIU Hai-ying, GUO Rui

(Dalian University of Science and Technology, Dalian 116036, Liaoning, China)

Abstract:

Taking an automobile engine crankcase as an example, this paper introduces the leakage parts of aluminum alloy die castings. Through the sealing test and sectioning inspection of the defective parts of the castings, it is determined that the leakage was caused by the penetrating shrinkage and porosity in the castings. The root causes of the shrinkage were analyzed by cause analysis table. And through the mold optimization design of local pressurization, increasing core cooling and adding heat dissipation reticulation on the surface of the place where the mold cavity contacts with the molten metal, the shrinkage defect of the crankcase has been effectively solved, and the first pass rate of the aluminum alloy die castings has been improved.

Key words:

aluminum alloy die castings; shrinkage; leak; local pressure boosting; mold cooling
