

油底壳压铸工艺设计及其改善

罗金成, 赵葵, 陈盛旭, 刘艳杰, 赵焕波, 滕光勇, 张慧

(温州瑞明工业股份有限公司, 浙江温州 325204)

摘要: 根据汽车发动机油底壳结构进行压铸工艺设计, 利用CAE模拟软件进行数值模拟, 通过优化高压点冷及流道方案, 结合模具温度场的分析与控制, 实现油底壳热节位置缩孔、泄漏问题的改善, 提升了产品质量, 满足了批量生产条件。

关键词: 油底壳; 温度场; CAE模拟; 高压点冷; 流道方案; 泄漏改善

油底壳作为汽车发动机的重要零部件, 安装在发动机底部。其主要功能是存储机油并封闭曲轴箱, 同时保护发动机下部的油路组件^[1-2]。油底壳具备较强的耐磨和抗冲击能力, 能够起到缓冲和分散碰撞力的作用, 还可以防止发动机油液泄漏, 保持发动机内部的正常工作温度。油底壳的密封、储油和吸油功能中的任何一项丧失都将造成发动机严重损坏^[3-4]。新一代的汽车发动机油底壳零件结构复杂、壁厚不均和气密性要求高, 在压铸过程中会出现涡流裹气、金属液难以均匀补缩现象, 导致铸件内部存在气孔、缩孔等缺陷^[5-6], 容易造成零件废品率高、成本浪费, 需对压铸工艺进行深入分析和持续改进^[7-8]。

1 零件结构及技术要求

图1为某汽车发动机油底壳结构示意图, 材质为铝合金ADC12, 尺寸轮廓约427 mm × 310 mm × 165 mm, 重量约3.4 kg, 平均壁厚3.3 mm。铸件整体结构较为复杂, 属于六面加工体, 中间布满交错的加强筋, 周边功能区域有10~20 mm不等的局部壁厚处^[9]。铸件成形模块除动、定模芯外, 还包含3组滑块抽芯。铸件投影面积约1 145 cm², 需采用1650T压铸机设备来进行生产。零件表面不允许有裂纹、欠铸、机械损伤及任何穿透性缺陷。高压油道密封面、滤清器安装面气孔要求 ≤ 0.3 mm, 其余一般加工面气孔要求 ≤ 0.5 mm。铸件内部孔隙按ASTM E505 2级标准执行。高压油道孔和内腔分别要求在0.4 MPa和0.2 MPa压力下, 保压25 s, 其泄漏值分别 ≤ 1.0 mL/min和 ≤ 4.0 mL/min。

作者简介:

罗金成(1995-), 男, 助理工程师, 学士, 主要从事铝合金压铸工艺技术研究工作。E-mail: 418183673@qq.com

通信作者:

赵葵, 男, 高级工程师。E-mail: ljsj888@126.com

中图分类号: TP391.73;
TG249.2

文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2025)
10-1399-07

收稿日期:

2025-05-12 收到初稿,
2025-06-27 收到修订稿。

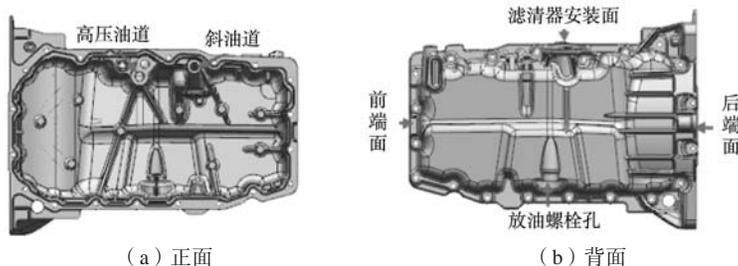
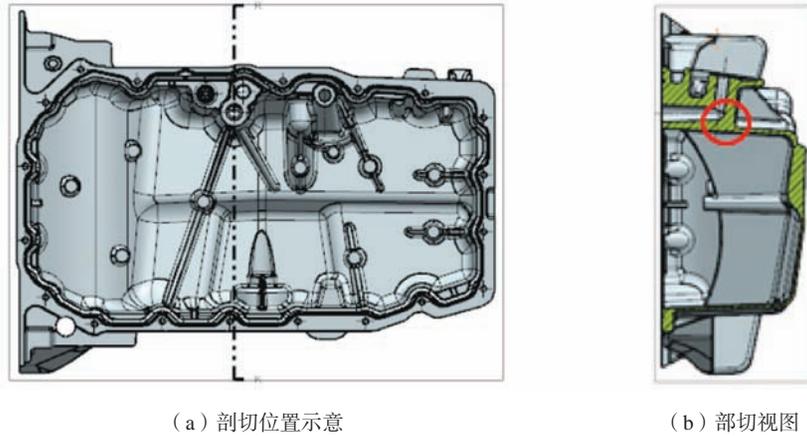


图1 某汽车发动机油底壳结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the oil pan structure of a certain automobile engine

2 浇注方案设计

该零件壁厚最厚处高达18.5 mm, 为高压油道预铸孔附近区域, 见图2。局部区



(a) 剖切位置示意 (b) 部切视图

图2 局部厚大位置剖视图 Fig. 2 Sectional view of the local thick and large position

域壁厚差异太大，形成热节点，在铸件凝固过程中由于补缩不足而产生缩孔、缩松缺陷，从而造成零件泄漏。针对此类缺陷问题，常见的解决方法是增设局部挤压销进行补缩，但该零件受限于产品及模具结构，无法有效设计挤压销，即挤压销油缸会与斜油道抽芯油缸产生干涉，高压油道孔、斜油道抽芯孔位置见图1 (a)。因此，针对本油底壳高压油道孔泄漏的风险，只能通过压铸流道和高压点冷方案设计来进行优化改善。

由于该油底壳内腔为产品顶出位置，因此内腔以动模成形，方便产品顶出，减小包紧力的作用，从而保证产品的平面度；且滤清器安装面、放油螺栓孔及后端面为3组滑块所在位置，如图1 (b)。故依据该油底壳结构选定分型及进料方式如图3所示：整体进料方式为竖直进料，以油底壳前端面为进料位置，可以避免分流锥设置在滑块上容易卡死的风险。共设计10组内浇道进料，后端面为填充末端。对该浇注系统进行初始数值模拟，模拟结果显示，铸件充型完成时整体温度偏低，如图4所示。原因为浇注系统流程长，充型过程中热量损失大，充型末端容易形成冷料聚集，从而导致加工后气孔、夹渣缺陷增多。且底部两股流道优先进料，容易形成冷隔，导致抛丸后起皮，如图5所

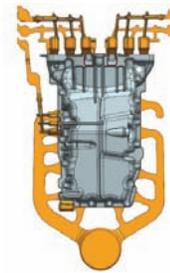


图3 浇注系统结构示意图

Fig. 3 Schematic Diagram of the gating system structure

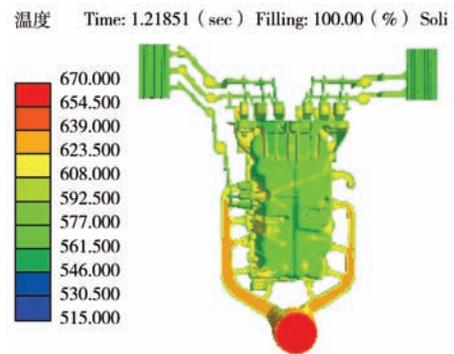


图4 温度场分布图

Fig. 4 Distribution image of the temperature field

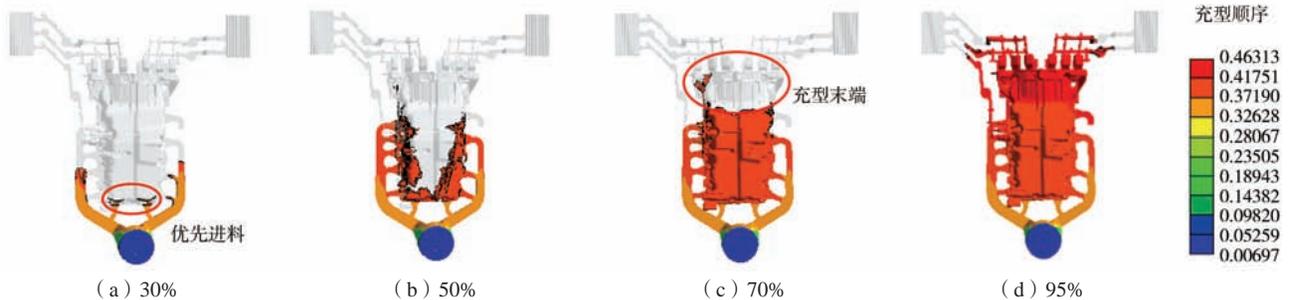


图5 充型过程示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the filling process

示。

底部及两侧流程过长,铝液在流道内热量损失的问题可以通过适当提高内浇道的充型速度,从而提高铝液进入型腔的温度,依据公式(1)^[10]:

$$T = \frac{v^2}{2cK} \quad (1)$$

式中: T 为金属液升高的温度, $^{\circ}\text{C}$; v 为内浇道速度, m/s ; c 为金属的比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$; K 为热工当量, $\text{kgf}\cdot\text{m}$ 。

ADC12压铸铝合金比热容为 $0.9\text{ J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 、热工当量为 $100\text{ kgf}\cdot\text{m}$ 时,应用式(1)描绘出内浇道速度与金属液温度升高的对应关系,如图6所示。当内浇道速度为 40 m/s 时,铝合金液进入型腔的温度将升高 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;而内浇道速度为 60 m/s 时,铝合金液进入型腔的温度将升高 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。所以,内浇道的速度越大,则金属液通过内浇道时的温度就升得越高。而油底壳选定内浇道速度为 50 m/s ,根据公式(1)计算得到内浇道升温为 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$,可以在一定程度上弥补铝合金液在进入型腔前的温度损失,保持铝液的流动性,保证末端的充型。同时,在型壁的所有充型末端位置设置一定体积的渣包,进行铝液前端冷料的容纳,减少末端气孔、夹渣的出现。高压油道孔的热节无法避免,需采用高压点冷进行强制冷却。

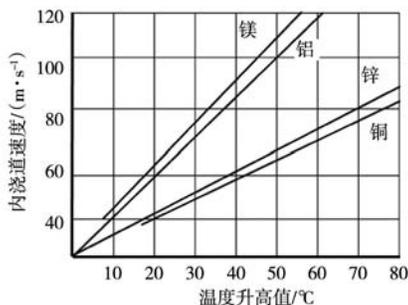


图6 内浇道速度与金属液温度升高关系图

Fig. 6 Graph showing the relationship between the speed of the internal gate and the increase in the temperature of the metal liquid

3 压铸工艺的选择

3.1 慢压射速度的选择

慢压射速度选择的原则:(1)使铝合金液从倒入

压射室内到注入内浇道时热量损失为最少,保证铝合金液拥有足够的流动性,便于充型;(2)在冲头向前推进时,使铝合金液不产生翻滚、涌浪现象,卷入气体量为最少;(3)防止铝合金液从浇口溅出,因此,慢压射速度不宜过快也不宜过慢,依据公式(2)^[11]:

$$V_c = 2 \times (\sqrt{gD} - \sqrt{gH}) \quad (2)$$

式中: V_c 为压射冲头的理论最大临界速度, m/s ; D 为压射室内径, m ; g 为重力加速度, m/s^2 ; H 为金属液在压射室内的初始高度, m 。

油底壳铸件采用1650T压铸机,压室内径 110 mm ,空打行程 816 mm ,铸件重量 8.34 kg ,铸件体积 $3\ 147\text{ cm}^3$,金属液在压射室内的初始高度为 50 mm ,依据公式(2)计算得出压射冲头的理论最大临界速度为 0.6 m/s 。使用AnyCasting软件进行数值模拟^[12, 15],观测铝合金液在完全充满压室前的充型流态,结果如图7所示。

依据模拟结果显示,铝合金液在压室内温度始终保持在液相线 $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,且低速充型过程中,随着冲头向前推进,铝液充型平稳,无卷气现象产生,避免了压室内气体的卷入。

3.2 快压射速度的选择

快压射速度选择的原则:(1)铝合金液在充满型腔前必须具有良好的流动性,保证充型的顺畅;(2)使铝合金液能快速有序地充满型腔,并把气体排出到型腔外;(3)不形成高速的金属流冲刷型腔或型芯,避免粘模现象的产生,铝合金压铸件内浇道速度一般为 $40\sim 60\text{ m/s}$ 。油底壳铸件内浇道总截面积为 771 mm^2 ,压室截面积为 $9\ 498.5\text{ mm}^2$,初步选定内浇道速度为 50 m/s ,依据伯努利方程:内浇道速度 \times 内浇道截面积=高速速度 \times 压室截面积,计算得出高速速度为 4 m/s 。

3.3 高速切换位置的选择

铸件理论高速切换位置为金属液填充至内浇道位置,该油底壳铸件理论高速位置为 590 mm ,但由于内浇道为上下排列,底部的内浇道会提早进料,导致铸件底部位置出现冷隔问题,故将高速切换点设置为 550 mm ,具体压铸工艺参数见表1。

表1 压铸工艺参数

Tab. 1 Parameters of die casting process

压室 内径/ mm	空打 行程/ mm	浇注 温度/ $^{\circ}\text{C}$	模具预热 温度/ $^{\circ}\text{C}$	铸造 压力/ MPa	慢压射 速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	快压射 速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	高速切换 位置/ mm	增压 位置/ mm
110	816	670	180	95	0.18	4	550	690

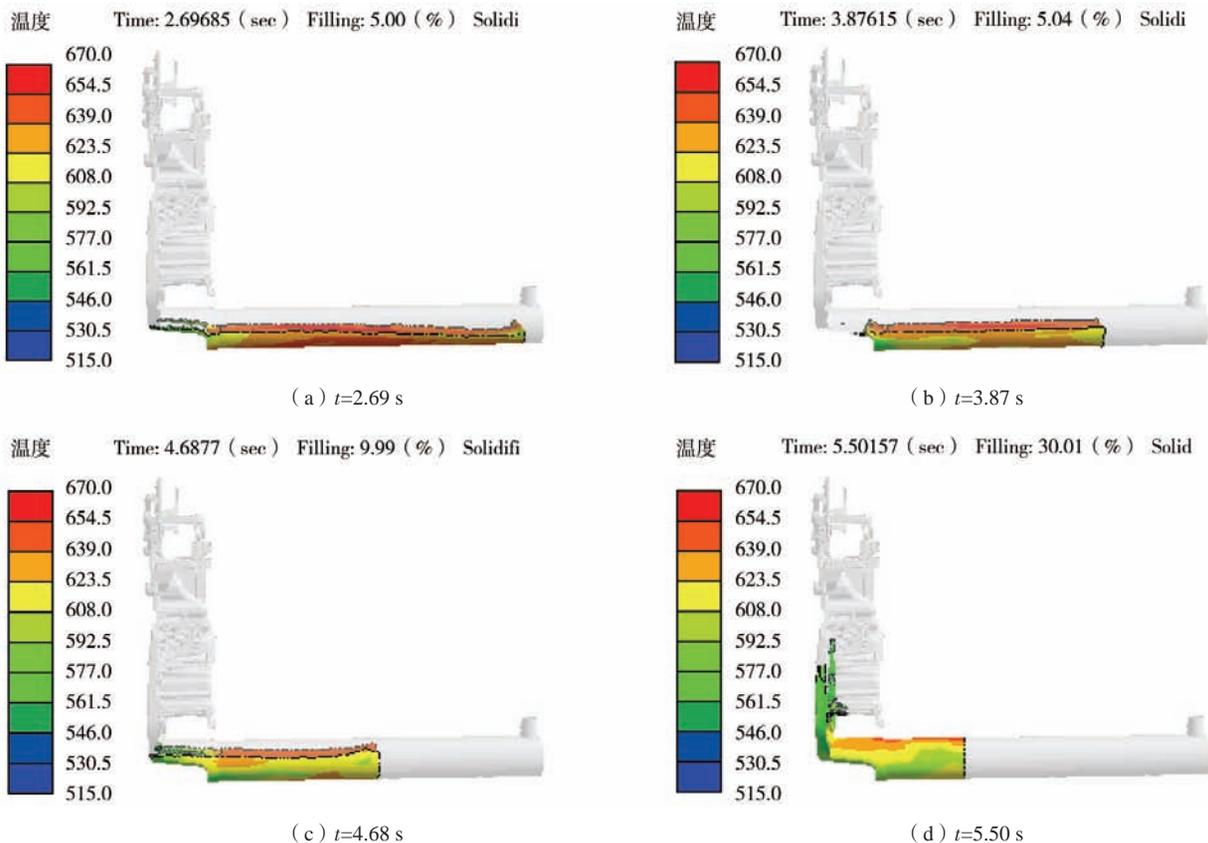


图7 压室充型模拟结果

Fig. 7 Simulation results of the filling of the injection chamber

4 压铸过程中的缺陷及工艺优化

在小批量压铸生产过程中，主要存在如图8所示问题：高压油道孔（不加工）泄漏，料废占比30%，且部分泄漏产品孔内目视可见裂纹存在。

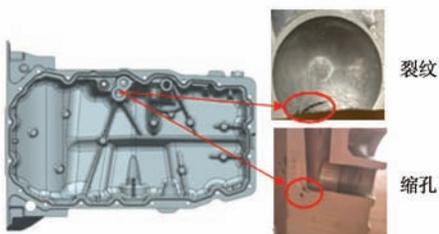


图8 油底壳缺陷解剖图

Fig. 8 Dissection diagram of the oil pan

高压油道孔泄漏问题为内部缩孔导致，部分泄漏产品缩孔外露导致裂纹产生，油道位置为产品热节所在，油道铸销高压点冷无法完全冷却该位置，使用热成像仪对该位置模具温度进行检测，油道铸销位置整体温度近290℃，如图9所示。通过调整铸销高压点冷通水流量，延长通水时间，无明显改善效果，初步判

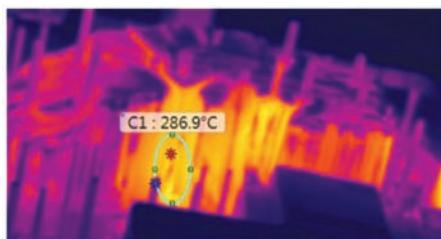


图9 改善前模具温度场

Fig. 9 The temperature field of the mold before improvement

断存在其他影响因素。通过反复确认CAE模拟结果，发现油道铸销正处于操作侧末端两股流道交汇处，如图10所示，两股流道直冲油道铸销且融合不良，从而

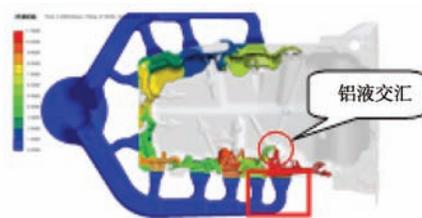


图10 改善前模拟分析

Fig. 10 The simulation analysis before improvement

导致铸销温度过高产生缩孔甚至缩孔外露。

依据缺陷所在对模具进行优化调整，将操作侧最末端一股流道进行封堵，如图12所示，同时，在定模芯新增一组高压点冷对高压油道孔底部壁厚位置进行点冷，加强热节位置的冷却，如图13所示。

优化后油道位置模具温度降至170℃，进行批量生产验证，试压无泄漏及裂纹出现。铸件外观明亮，无冷隔、流痕等缺陷存在，抛丸处理后表面粗糙度符合要求，无明显抛丸起皮现象，如图14所示。对产品进行X光射线检验，内部质量良好，整体孔隙满足ASTM E505 2级标准要求，如图15所示。油道位置解剖后对该位置剖面及内部进行针对性检验，无明显气孔、缩孔存在，如图16所示。按此工艺进行批量生产，泄漏料废率0.48%，产品综合合格率达到98%以上，满足批量生产要求。

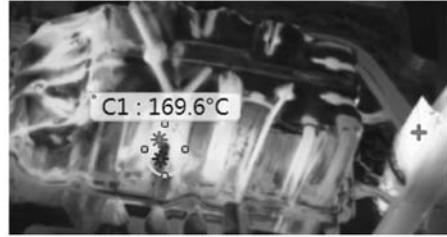


图11 改善后模具温度场

Fig. 11 The temperature field of the mold after improvement

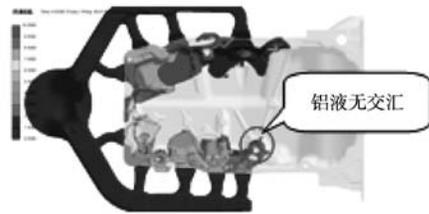


图12 改善后模拟分析

Fig. 12 The simulation analysis after improvement

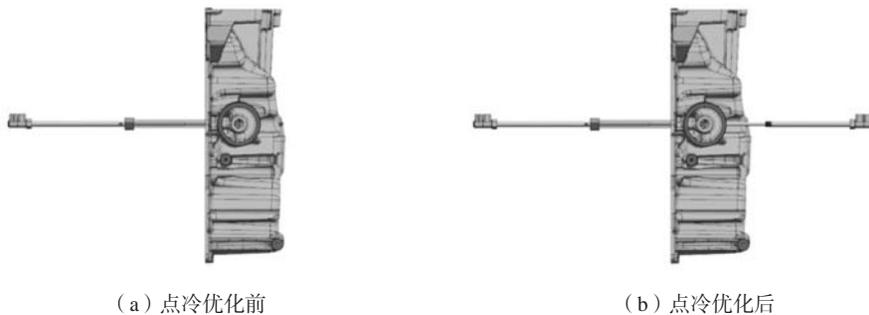
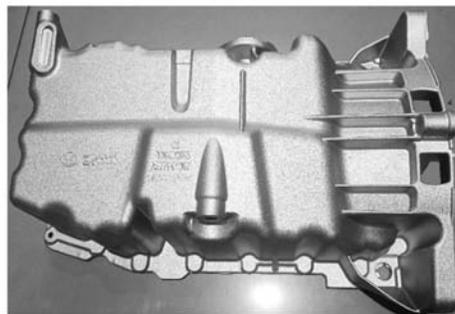


图13 模具点冷方案优化

Fig. 13 Optimization of the mold cooling scheme



(a) 带浇注系统的铸件图片



(b) 浇注系统去除并抛丸处理的产品图片

图14 油底壳实物照片

Fig. 14 Photo of the oil pan in its actual state

5 结语

(1) 对于压铸铝合金油底壳厚壁位置的缩孔缺陷问题，通过改进高压点冷方案进行优化，在孔径较大

的铸销位置，采用高压点冷的方式，对铸销本体和对侧模芯同时进行强制冷，改善厚壁位置的凝固条件，对油底壳热节位置的缩孔改善有一定效果。

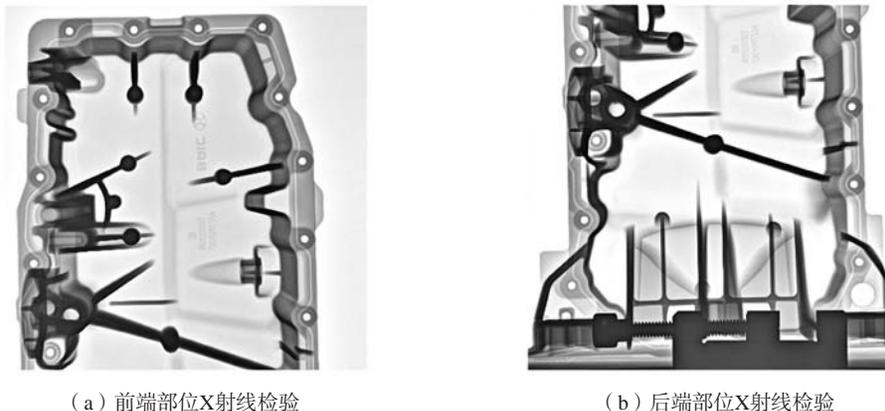


图15 整体X射线检验

Fig. 15 Inspection results of the overall X-ray

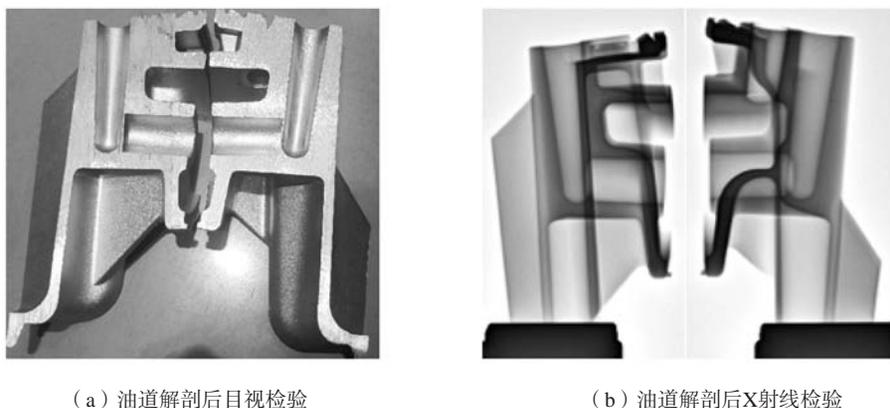


图16 油道位置解剖及X射线检验

Fig. 16 Anatomical examination of the oil passage location and X-ray inspection

(2) 对于油底壳靠近内浇道位置的预铸孔位, 其预铸销本身受相近浇道直冲的影响, 容易造成粘模, 导致铸销温度升高, 需要频繁进行清理和更换的情况下, 结合CAE数值模拟, 对浇注系统进行优化改进,

确保在铸销位置不会形成多股流道交汇、融合不良的现象, 可以有效改善铸销因粘模导致温度过高形成内部缩孔从而造成产品泄漏的问题。

参考文献:

- [1] 倪伟. 发动机油底壳的设计探讨 [J]. 内燃机与动力装置, 2017 (2): 51-53.
- [2] 安肇勇, 万里, 黄志垣, 等. 油底壳压铸成形的缺陷分析及对策 [J]. 特种铸造及有色合金, 2015, 35 (6): 607-609.
- [3] 邹剑佳, 张百在, 杜海. 降低油底壳压铸件废品率的工艺改进 [J]. 特种铸造及有色合金, 2008, 28 (9): 696-697.
- [4] 葛春东, 王淑清. EA111油底壳压铸模设计 [J]. 特种铸造及有色合金, 2006, 26 (5): 293-294.
- [5] 邵熠羽, 彭文飞, 崔杰, 等. 差速器壳体高压压铸工艺模拟及优化 [J]. 铸造, 2023, 72 (12): 1624-1630.
- [6] 刘宝林, 廖铭煜, 姚佳宏, 等. 复杂薄壁汽车车门压铸过程数值模拟及缺陷预测 [J]. 铸造, 2023, 74 (3): 385-391.
- [7] 周海军, 常移迁, 池晓钦. 压铸铝合金汽车油底壳缺陷分析与工艺改进 [J]. 热加工工艺, 2013, 42 (7): 58-59.
- [8] 常移迁, 周海军. 压铸铝合金汽车前罩壳缺陷分析与工艺改进 [J]. 热加工工艺, 2012, 41 (11): 64-68.
- [9] 侯丽彬, 曲太旭, 朱洪军. EA888 油底壳高压油道泄漏的原因分析及模具优化设计 [J]. 铸造, 2023, 72 (2): 203-206.
- [10] 王振东. 金属压铸成型新工艺与压铸件生产新技术及压铸模设计制造选用、国内外最新压铸技术标准应用实务全书 [M]. 北京: 北方工业出版社, 2006: 157.
- [11] 吴树森, 万里, 安平. 铝、镁合金熔炼与成形加工技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 149.

- [12] 赵葵, 管文浩, 刘志红, 等. 基于AnyCasting的铝合金缸盖数值模拟及工艺优化 [J]. 铸造工程, 2015, 39 (3): 30-33.
- [13] 刘骥, 杜航, 徐海登, 等. 基于数值模拟的铝合金缸盖砂芯发气预测及工艺优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39 (12): 1301-1304.
- [14] 杨柯, 夏承睿, 吴勤, 等. 重力倾转铸造汽油机铝合金气缸盖缩松缺陷改进方案 [J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40 (11): 1283-1285.
- [15] 赵葵, 韩猛, 刘志红. 基于Anycasting的铝合金缸盖数值模拟机工艺优化 [C]// 中国铸造活动周. 中国机械工程学会铸造分会, 2014.

Design and Improvement of Die-Casting Process for Oil Pan

LUO Jin-cheng, ZHAO Kui, CHEN Sheng-xu, LIU Yan-jie, ZHAO Huan-bo, TENG Guang-yong, ZHANG Hui
(Wenzhou Ruiming Industrial Co., Ltd., Wenzhou 325204, Zhejiang, China)

Abstract:

The die-casting process was designed according to the structure of the automotive engine oil pan. CAE simulation software was used to numerically simulate the aluminum alloy oil pan die-casting process. By optimizing the high-pressure point cooling and flow channel scheme, combined with the analysis and control of the mold temperature field, the problems of shrinkage and leakage at the hot spot position of the oil pan were mitigated, thereby improving product quality and meeting the requirements for mass production.

Key words:

oil pan; temperature field; CAE simulation; high-pressure point cooling; flow channel scheme; leakage mitigation
