

铝合金变速箱外壳压铸模设计及工艺分析

周倩¹, 任浩², 王俊有³, 黄明宇¹

(1. 南通大学机械工程学院, 江苏南通 226019; 2. 天津雄邦压铸有限公司, 天津 300300;

3. 雄邦压铸(南通)有限公司, 江苏南通 226300)

摘要: 针对铝合金铸件在压铸充填过程中常伴有气孔、缩孔、冷隔等缺陷的现象, 以汽车铝合金变速箱外壳为例, 分析变速箱外壳的结构特征, 对其浇注系统、冷却系统、抽芯结构进行设计, 确定最佳工艺参数, 经过试验与分析, 最终经过实际压铸生产验证, 确定了工艺方案的合理性。结果表明: 当定模温度为200 ℃、动模为220 ℃、铝液浇注温度为670 ℃、慢压射速度为0.18 m/s、快压射速度为4.5 m/s、内浇道的压射速度为48 m/s、留模时间为30 s时, 铸件成形品质较好。合理压铸工艺设计不仅能提高生产效率以及产品的合格率, 还能简化模具设计制造流程, 减少模具开发成本。

关键词: 铝合金; 压铸模具; 工艺分析; 压铸生产

作者简介:

周倩(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究材料成形及控制工程。E-mail: 3281301589@qq.com

通讯作者:

黄明宇, 男, 硕士生导师, 教授。E-mail: huang.my@ntu.edu.cn

中图分类号: TG249.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)

03-0301-05

基金项目:

新能源汽车铝合金结构件材料及真空压铸关键技术研发及产业化(BA2015041)。

收稿日期:

2020-11-25 收到初稿,

2021-01-02 收到修订稿。

铝合金具有密度小、强度较高、耐腐蚀、耐磨、导热性能好、易于加工、外形美观等方面的优点, 广泛应用于汽车、航空、机械、通讯等领域^[1]。铝合金的成形方法, 主要包括压力铸造、砂型铸造、挤压铸造等。目前49%的铝合金产品都是通过压铸成形的。压铸铝合金使用范围非常广泛, 约占压铸件总产量的75%以上^[2-3]。压铸成形具有产品质量好、尺寸精度高、适合大批量生产等多方面的优势^[4]。在生产过程中, 由于铝合金铸件伴随着热胀冷缩的物理变化, 不可避免地会产生气孔、缩孔、冷隔、裂纹等缺陷, 极大影响了铝合金铸件的生产合格率。随着汽车领域对铝合金铸件产品的要求越来越严苛, 需要铸造行业不断优化压铸工艺来满足产品性能的需求。

1 产品结构分析

某新研发的汽车铝合金变速箱外壳如图1所示, 产品结构十分复杂, 表面遍布输油管、加强筋、安装孔等凹凸结构, 因此模具具有侧抽芯机构。变速箱外壳壁厚分析如图2所示。产品材料为AlSi9Cu3, 收缩率0.6%; 最大外形尺寸456 mm × 381 mm × 275 mm; 重量9.9 kg; 平均壁厚4 mm; 有较多的油道孔, 所以致密度要求较高, 孔隙率要求高, 测漏要求严, 交样要求为孔隙率不高于5%, 气孔不大于3 mm。

2 模具设计

2.1 分型面的确立

压铸模中, 分型面的选择一般需保证开模后铸件留在动模侧, 方便顶出, 并设置在压铸件外形尺寸轮廓的最大断面处^[5]。由于该产品结构十分复杂, 内部的结构无法直接成形, 且与动定模开模方向不一致的部位, 这时候需要借助滑块来成形。且产品需设置一定的脱模斜度, 以便于后期的开模。上、下、右滑块以及动定模的分型面如图3所示。其中图3a是下滑块的分型线, 图3b为右滑块的分型线, 图3c为上滑块的分型线, 图3d为动定模的分型线。确定合适的分型面是模具设计的关键。

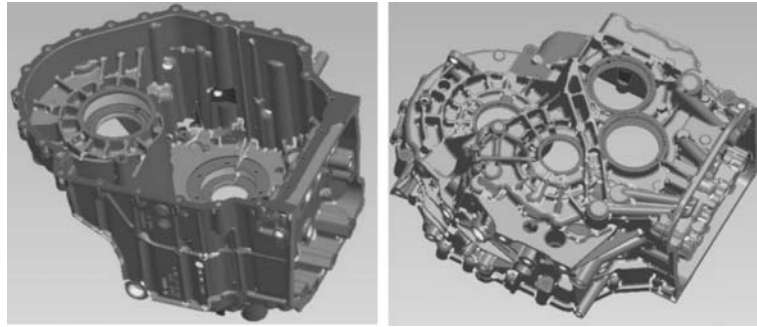
2.2 浇注系统的设计

2.2.1 内浇道的设计

内浇道是压铸工艺方案中最重要的一个要素，直接决定产品质量和生产过程^[6]。它设置在重要或流动不好的产品部位，尽可能保证型腔内部流动形态一致和平稳。计算公式见式（1）。

$$A_n = G / \rho v_g t \quad (1)$$

式中： A_n 为内浇道截面积， m^2 ； G 为通过内浇道金属液的质量，这里取 10.9 kg ； ρ 为金属液密度，取 $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ； v_g 为内浇道处金属液的速度，查表^[6]取 40 m/s ； t 为充填时间，查表^[6]取 0.07 s 。由式（1）计算 A_n 为 $1\,441 \text{ mm}^2$ 。

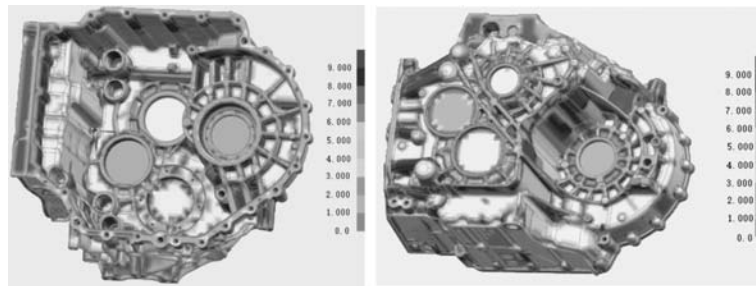


(a) 产品底视图

(b) 产品顶视图

图1 产品结构图

Fig. 1 Product structure diagram

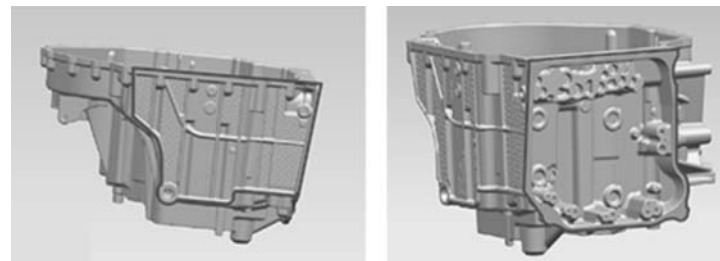


(a) 产品底面壁厚分析图

(b) 产品顶面壁厚分析图

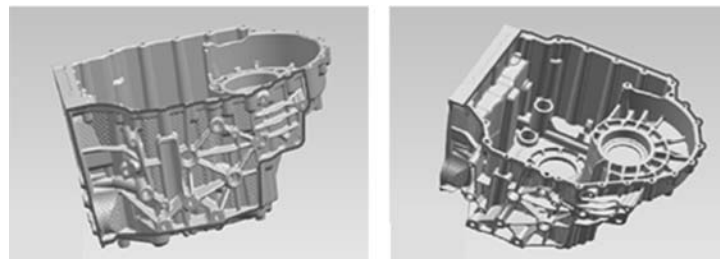
图2 产品壁厚分析图

Fig. 2 Product wall thickness analysis



(a) 下滑块分型线

(b) 右滑块分型线



(c) 上滑块分型线

(d) 动定模分型线

图3 分型面图

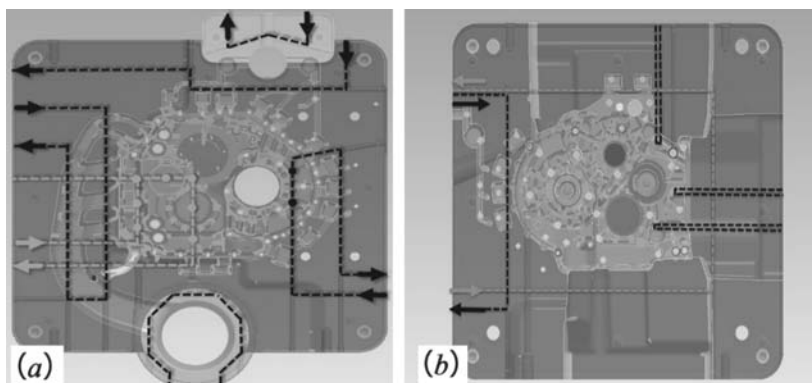
Fig. 3 Layout of parting lines

2.2.2 横浇道与排溢系统设计

横浇道用以连接直浇道和内浇道，且横浇道的截面积的设计应能使直浇道到内浇道越来越小，这样既有助于保证铝液充填时具有一定的压力，又能防止在浇注过程中出现涡流。排溢系统的设计是确保铸件品质的重要部分，其作用都是排出金属液前端的气体、冷料、夹杂物及金属汇流处的液体，以消除压铸件的缺陷^[7-9]。产品的结构特征决定了横浇道的排布方式，一般根据模流分析的结果确定渣包位置的排布。排气槽的功能对压铸件内部气孔有非常大的影响，理想状态是排气槽的截面积达到内浇道截面积的50%以上。排气槽一般与溢流槽配对采用，排气槽的日常维护及清理是确保正常生产所必须的。

2.3 冷却系统的设计

压铸模具中，冷却系统的设计有利于控制模具的温度，使其内部的热量达到一个动态平衡的状态，从而保证产品的质量。图4为动定模冷却水路图。图5为含冷却系统的产品浇注系统三维模型，冷却系统包含水路以及一些针对某些特定位置设计的高压点冷机构，高压点冷设置在凝固时间较长的区域，单独给该位置降温。



(a) 定模冷却水路

(b) 动模冷却水路

图4 动定模冷却水路图

Fig. 4 Cooling water circuit for moving and fixed dies

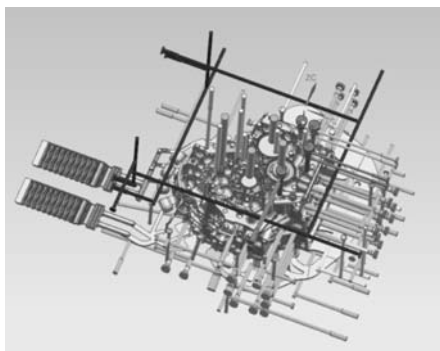


图5 含冷却系统的产品浇注系统图

Fig. 5 Gating system with cooling passages

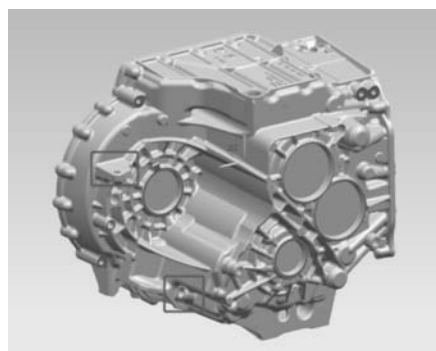


图6 铸件外观结构图

Fig. 6 Appearance structure of casting

2.4 抽芯机构设计

对于与分模方向不一致的侧孔、侧凹不易直接成形区域，一般采用抽芯结构^[10]。压铸过程中，对于该变速箱外壳而言，开模顺序为动定模分开后，先抽芯后顶出。如图6所示，对于图中标方框的两个侧孔，由于其方向与开模方向不一致，具有一定的起模角度，因此这两个位置均采用液压油缸抽芯结构成形。根据产品结构特征，将这两个液压油缸抽芯结构设置在动模上。图7为该产品的压铸模具图。

3 压铸机及工艺参数的选择

3.1 压铸机的选型

压铸机选择取决于压射能量、压室容量、锁模力和模具安装尺寸等。锁模力，即用来克服压铸生产时的胀型力，从而达到防止铝液飞溅的目的。通常情况下，模具的锁模力应大于理论计算得出的胀型力。否则，模具无法锁紧，型腔中的压力无法保证，且铝液在填充过程中容易从分型面溢出，产生飞边等缺陷，严重影响着铸件的尺寸精度。胀型力公式可用下式表示^[6]：

(1) 模具无偏心时的胀型力：

$$P=pA \quad (2)$$

(2) 有抽芯机构时, 楔紧块的斜面所受的法向作用力:

$$P=p_1A_1\tan\alpha \quad (3)$$

式(2)、式(3)中: P 为模具分型面上的胀型力, N; p 为压射比压MPa; A 为铸件、浇注系统、溢流槽在分型面上的投影之和; P_1 为楔紧块斜向的法向分力, kN; A_1 侧向活动型芯成形部分投影面积, m^2 ; α 为楔紧块倾斜角。

(3) 锁模力的计算:

$$T=KF_{总} \quad (4)$$

式中: K 为安全系数, 这里取1.2。

查铝合金压射比压推荐值^[6], 对于耐气密性件, 压射比压的推荐值80~120 MPa, 这里取90 MPa, 滑块的倾斜角为 10° 。经计算, 所需要的锁模力要不低于31 161.6 kN。根据锁模力的计算结果以及安装尺寸、开模行程等校核, 使用3200T或以上压铸机, 最终选择压铸机型号为: 布勒3200T。另该压铸机压室容量和安装尺寸等参数也均满足要求。

3.2 压铸工艺参数选择

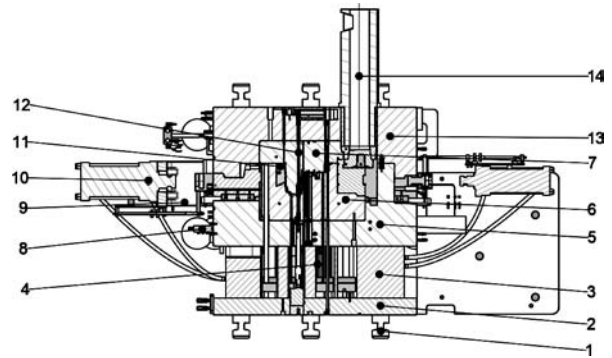
压铸工艺设计的基础为流动、凝固及成形理论。选择合理的压铸工艺参数, 进行压铸生产试运行。压室直径确定为140 mm, 探究最佳模具的预热温度、浇注温度、冲头速度的压铸工艺参数。将模具预热温度设置为140、160、180、200和220 $^\circ\text{C}$, 浇注温度设置为650、670、680、690和700 $^\circ\text{C}$, 压射速度设置为0.1、2.5、3.5、4.0和4.5 m/s。依次进行多次正交试验, 分析比较得出最佳工艺参数^[11]。

3.2.1 模具预热温度

模具的预热温度对于产品的品质具有重要影响, 一般模具预热温度在180 $^\circ\text{C}$ 以上, 且为浇注温度的1/3左右, 薄壁或结构复杂的产品可适当调高, 此时, 铸件品质较好。若模具预热温度设置过低, 铸件由于收缩应力变大, 易产生裂纹; 模具预热温度过高, 预热时间增加, 延长生产节拍, 降低生产效率。经过多次调试, 较合理的模具预热温度控制在定模为200 $^\circ\text{C}$, 动模为220 $^\circ\text{C}$ 。

3.2.2 浇注温度

浇注温度是熔融金属从压室进入型腔的平均温度, 以保温炉上的温度值表示。浇注温度对产品质量有重要的影响, 温度过高凝固时收缩大、气体溶解度大、铸件容易产生裂纹、晶粒粗大及粘型; 温度过低易产生浇不足、冷隔及表面流纹等缺陷。此外还与压射速度和合金成分有关, 经过多次试验, 浇注温度在670 $^\circ\text{C}$ 较好。



1. 锁模柱 2. 底板 3. 固定块 4. 顶针 5. 动模框 6. 动模芯 7. 定模芯
8. 集水器 9. 油缸支架 10. 油缸 11. 活动镶块 12. 冷却水管
13. 定模框 14. 熔杯

图7 压铸模具平面布置图

Fig. 7 Die casting die location layout

3.2.3 压射速度

铝液充填入型腔, 压射速度分为两个阶段: 慢压射速度和快压射速度。慢压射阶段是指冲头推动铝液前进直至冲头将压室中的铝液推入内浇道的运动过程, 快压射阶段是指铝液充满型腔时冲头的压射速度。快压射速度与充型质量有着十分密切的联系, 冲头压射速度过低, 铸件无法成形或成形品质较差。提高压射速度, 从而提高熔融铝液的流动性, 能避免流痕、冷隔等缺陷的产生。经过多次实践, 该产品的最佳快压射速度取4.5 m/s。内浇道的压射速度与快压射速度的关系为:

$$v_n A_n = v_k A_k \quad (5)$$

式中: v_n 为内浇道的压射速度, m/s; A_n 为内浇道面积, 由式(1)得 $A_n=1\ 450\ \text{mm}^2$; v_k 为快压射速度, 选4.5 m/s; A_k 为压室内孔面积, 压室直径为140 mm^[6]。经计算, 得内浇道的速度为48 m/s。

4 压铸生产过程

本产品压射过程分五个阶段: ①浇注阶段; ②低速填充阶段 I (慢速封口); ③低速填充阶段 II, 金属液堆积; ④高速切换与填充阶段; ⑤增压压射阶段。

压射过程结束后压铸机开模, 同时静模抽芯机构抽芯-继续开模、动模抽芯-继续开模并顶出铸件-取件机械手取出铸件-喷涂机械手喷涂脱模剂, 完成一次压铸过程循环。图8为最终铝合金变速箱外壳压铸成品图。变速箱外壳表面轮廓清晰, 表面无飞翅、裂纹、气孔、冷隔等缺陷。后续经机加工后, 在测试台通过了高低压测漏试验的验证。

5 结论

(1) 根据铝合金变速箱外壳的结构特征, 对其进行压铸模设计。设计的主要包括: 分型面的确定、浇注系统的设计、冷却系统的设计、抽芯结构的设计等。压铸模的结构对铸件的成形质量有着重要影响。

(2) 经过多次试验, 最佳工艺参数为: 定模温度为200 ℃, 动模温度为220 ℃; 铝液浇注温度为670 ℃; 慢压射速度为0.18 m/s, 快压射速度为4.5 m/s; 内浇道的压射速度为48 m/s; 留模时间为30 s时, 铸件成形品质较好, 经检验测试, 满足技术要求。

(3) 针对铝合金压铸件出现的气孔、冷隔、泄漏等问题, 通过优化压铸工艺, 可以大大减少生产成本, 缩短生产周期, 提高经济效益。

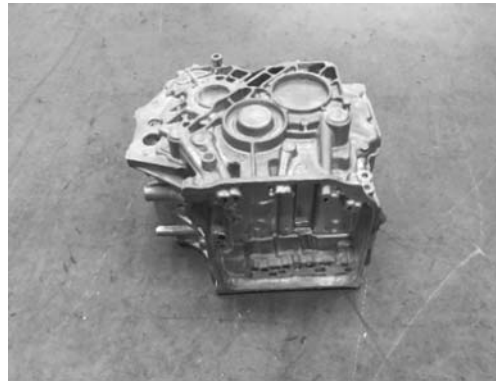


图8 铝合金变速箱外壳压铸件
Fig. 8 Die-cast aluminum alloy gearbox housing

参考文献:

- [1] 李荣德, 于海朋, 袁晓光. 压铸技术及压铸合金的发展与应用 [J]. 机械工程学报, 2003 (11): 68-73.
- [2] 樊振中, 袁文全, 王端志, 等. 压铸铝合金研究现状与未来发展趋势 [J]. 铸造, 2020, 69 (2): 159-166.
- [3] 倪红军, 陈科, 张福豹, 等. 压铸铝合金研究现状及展望 [J]. 轻金属, 2019 (3): 51-55.
- [4] 张正来, 夏天, 冯光明, 等. 多级涡轮增压器壳体压铸模具设计 [J]. 铸造, 2018, 67 (9): 787-789.
- [5] MEHTEDI M E, MANCIA T, BUONADONNA P, et al. Design optimization of gate system on high pressure die casting of AlSi13Fe alloy by means of finite element simulations [J]. Procedia CIRP, 2020, 88: 509-514.
- [6] 潘宪曾. 压铸模设计手册 [M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [7] ZYSKA A, KONOPKA Z, GIEWKA, M, et al. Porosity of castings produced by the vacuum assisted pressure die casting method [J]. Archives of Foundry Engineering, 2015, 15 (1): 125-130.
- [8] 张国强, 赵占西, 勾健, 等. 壳体压铸工艺设计及优化 [J]. 铸造, 2020, 69 (5): 501-505.
- [9] 李建宇, 管胜敏, 吴树森, 等. 大型复杂离合器壳体高致密化压铸 [J]. 铸造, 2020, 69 (11): 1198-1202.
- [10] 万晓萌, 张笑, 王晔, 等. 大型复杂铝合金变速箱壳体压铸模设计 [J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40 (8): 854-856.
- [11] 陈位铭, 金胜灿. 铝合金压铸工艺的数值模拟及应用 [J]. 汽车技术, 2005 (6): 32-35.
- [12] 崔黎明. 铝合金压铸件缺陷分析及成型工艺优化 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.

Die Casting Die Design and Process Analysis of Aluminum Alloy Gearbox Housing

ZHOU Qian¹, REN Hao², WANG Jun-you³, HUANG Ming-yu¹

(1. Nantong University College of Mechanical Engineering, Nantong 226019, Jiangsu, China; 2. Tianjin Xiongbang Die Casting Co., Ltd., Tianjin 300300, China; 3. Nantong Xiongbang Die Casting Co., Ltd., Nantong 226300, Jiangsu, China)

Abstract:

Aluminum alloy castings are often accompanied by blowhole, shrinkage holes, cold shut and other defects during the die-casting filling process. In the work, taking the aluminium alloy gearbox for automobile as an example, the structural characteristics of the gearbox housing was analyzed, and the pouring system, cooling system, and core puller were designed. After the optimal process parameters were determined, the actual die-casting production was conducted. The good casting quality was obtained when optimal process parameters were as follows: the fixed die temperature 200 ℃, the moving die temperature 220 ℃, the molten aluminum casting temperature 670 ℃, the slow injection speed 0.18 m/s, the fast injection speed 4.5 m/s, the injection speed of the inner gate 48 m/s and the die opening time 30 s. Reasonable die-casting process can not only improve production efficiency and overall yield of castings, but also simplify die processing procedures, thereby reducing die development cost.

Key words:

aluminum alloy; die casting die; process analysis; die casting production