

铝合金变速器壳体压铸工艺设计及优化

吴跃翔, 苏小平

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏南京 211816)

摘要: 以铝合金变速器壳体为研究对象, 结合压力铸造和零件结构的特点, 设计浇注系统, 使用Magma软件对初始工艺进行数值模拟, 结果表明充型不平稳, 没有按照顺序凝固, 产生缩松缩孔和热裂纹缺陷。根据模拟结果及缺陷产生原因改进浇注系统, 增加冷却系统, 最终得到消除缺陷、符合要求的工艺方案。

关键词: 变速器壳体; 压铸工艺; 数值模拟; 工艺优化

变速器总成是汽车传动系统中的关键部件, 而变速器壳体作为安装变速齿轮支撑轴承的零件, 需要保证在各种复杂工况下, 能够吸收齿轮在工作时所产生的作用力和力矩, 且不会发生变形位移, 保持轴与轴之间的精确相对位置^[1]。这就要求变速器壳体具有较高的强度、刚度, 但是在变速器制造时, 容易产生缩松、缩孔和热裂纹等缺陷, 会大大影响零件性能^[2]。压力铸造是将液态金属快速冲入型腔, 并在高压下凝固的工艺, 可以有效减少铸件缺陷^[3]。为提高某国产乘用车品牌的变速器壳体的综合成品率, 使用Magma软件对变速器壳压力铸造工艺进行可行性研究。先根据铸造手册和经验公式初步设计压铸方案, 根据模拟结果改进得到优化方案, 再通过试制验证该方案的可行性。

1 仿真模型与初始工艺设计

变速器壳体及浇注系统模型如图1所示。壳体尺寸为230 mm × 300 mm × 120 mm, 质量为2.366 kg, 材料为AlSi9Cu3, 压铸时的收缩率为0.5% ~ 0.6%, 采用一模两件的常规压力铸造工艺, 压铸机类型为DM1500卧式冷室压铸机。壳体上部分布了一些肋板, 中间为空心腔体, 两个孔是用来安装支撑轴承, 模型整体比较复杂, 最大壁厚为26 mm, 位于图中A处, 最小壁厚为7 mm, 位于图中B处, 平均壁厚10 mm。壳体底部较为平整, 且与正投影方向平行, 选取底部为分型面。

由于采用一模两件工艺, 且压铸浇道设计时, 一般常采用单个内浇道, 不宜过多改变方向, 减少流程, 所以选择侧浇口式浇注系统^[4]。内浇口设置在侧面, 金属液从两侧进入完成充型。内浇口面积由公式(1)计算得到^[5], 为4.16 cm²; 直浇道的直径由压铸机类型决定, 为100 mm。

$$A_{内} = \frac{G}{\rho vt} \quad (1)$$

式中: $A_{内}$ 为内浇口横截面积之和, cm²; G 为铸件总质量, g; ρ 为合金液密度, g/cm³; v 为内浇口出口处合金液的线速度, cm/s; t 为充型时间, s。

2 初始工艺数值模拟分析

将模型STL格式导入到Magma中, 进行网格划分, 共生成网格数量为1 084 326, 其中流体网格数量为513 722。铸件材料选择AlSi9Cu3, 浇注温度660 °C, 模具材料选择H13, 预热温度225 °C, 铸件和模具材料的热物性参数如表1所示^[6]。压射比压为

作者简介:

吴跃翔(1996-), 男, 硕士生, 研究方向为汽车零部件工艺成形技术。
电话: 18751807928,
E-mail: 1532611196@qq.com

中图分类号: TG249.2
文献标识码: B
文章编号: 1001-4977(2021)03-0311-05

收稿日期:

2020-09-14 收到初稿,
2020-11-09 收到修订稿。

60 MPa, 充型速度0.5~2 m/s, 保压时间50 s, 进行模拟。

2.1 充型过程分析

整个铸件充型时间为0.06 s, 为了更好地观察充型过程中的金属液流动情况, 使用示踪粒子查看充型过程, 如图2所示。从图中可以看出, $t=0.02$ s时, 金属液已经注满整个浇注系统, 金属液流动较为平稳, 由侧面进入型腔并向另一侧流动。当 $t=0.032$ s时, 金属液处于高速充型阶段, 浇道内发生了显著的分流回流(图2中圈出部位), 影响整个流动的平稳性, 容易造成卷气、夹渣现象, 最终影响零件质量。

2.2 凝固过程分析

凝固过程中的温度场变化如图3所示。当 $t=1.049$ s时, 变速器壳体上一些比较薄的肋板开始凝固; 当 $t=5.625$ s时, 凝固率达到50%, 铸件上一些壁厚较小的部位开始凝固, 主要位于壳体上部和中心圆孔周围; 当 $t=11.764$ s时, 凝固率为85%, 此时铸件大部分都凝固完成, 主要是一些壁厚较大的部分, 还未完全凝固。从整个凝固过程温度场变化来看, 凝固时并没有实现顺序凝固, 一些壁薄的地方先凝固, 而壁厚的位置最后凝固, 而且壁厚位置远离浇口, 很容易在凝固时产生孤立液相, 无法补缩, 最终形成疏松缩孔缺陷。在一些拐角处, 由于凝固时间的不同, 导致收缩

应变率过大, 从而在表面产生热裂纹。

2.3 铸造缺陷分析

根据充型过程和凝固过程的结果变化分析, 对铸件疏松缩孔和热裂纹分布位置进行预测, 结果如图4所示。

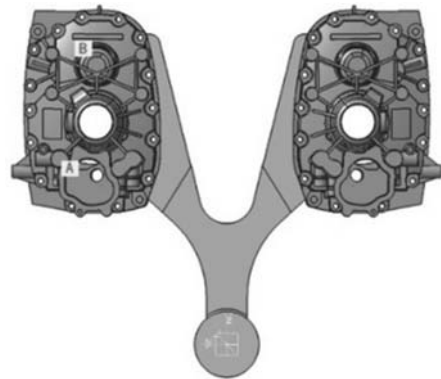


图1 变速器壳体及浇注系统模型

Fig. 1 Transmission case and casting system model

表1 铸件和模具材料的热物性参数
Table 1 Thermal physical parameters of casting and die materials

材料	密度 $/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	比热容 $/(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	热导率 $/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
AlSi9Cu3	2 750	880	120
H13	7 830	485~665	26.2~33.4

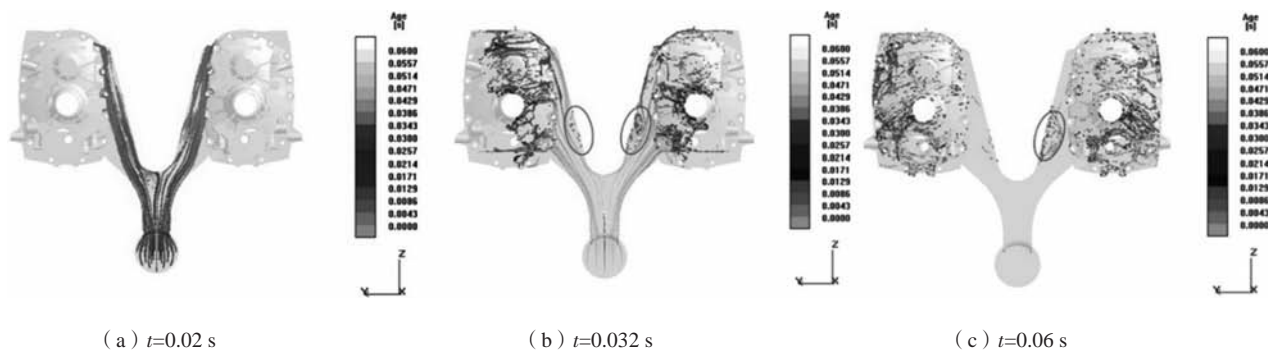


图2 充型时示踪粒子路径

Fig. 2 Path of tracer particles in mold filling

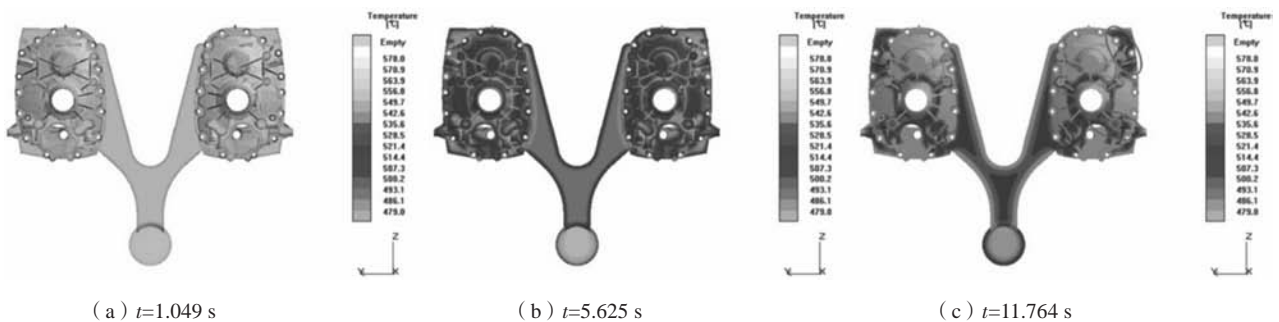


图3 凝固过程温度场变化

Fig. 3 Change of temperature field during solidification

示。可以看出，缩松缩孔可能产生的位置与之前分析的相接近，而热裂纹也位于厚壁与薄壁交界处图中圈出部位。

3 优化工艺分析

3.1 确定优化方案

由于初始工艺无法得到符合要求的铸件，需要对其进行优化，主要包括两个方面：（1）对浇注系统尺

寸进行改进。初始浇注系统，金属液在进入浇道流向两侧时，浇道变窄，流速增加，容易产生喷射，发生紊流，进而导致分离回流，为了保证流动平稳，对浇道尺寸进行优化；（2）增加冷却系统，调整凝固时温度场分布，实现顺序凝固，冷却系统采用水冷，冷却水温度20℃。改进后的模型如图5所示，其他冷却工艺参数见表2。

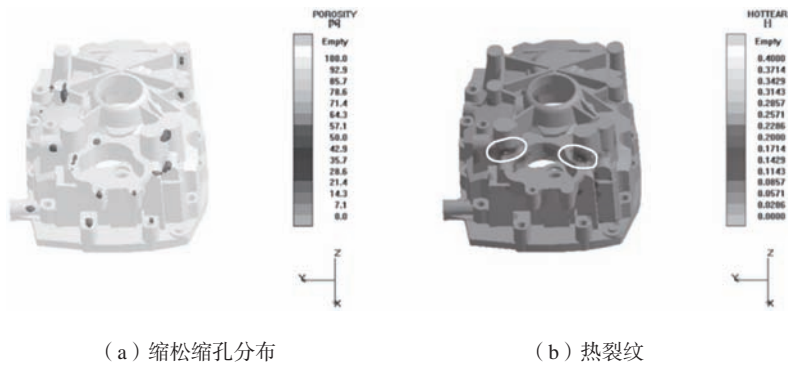


图4 模拟缺陷预测
Fig. 4 Prediction of defects

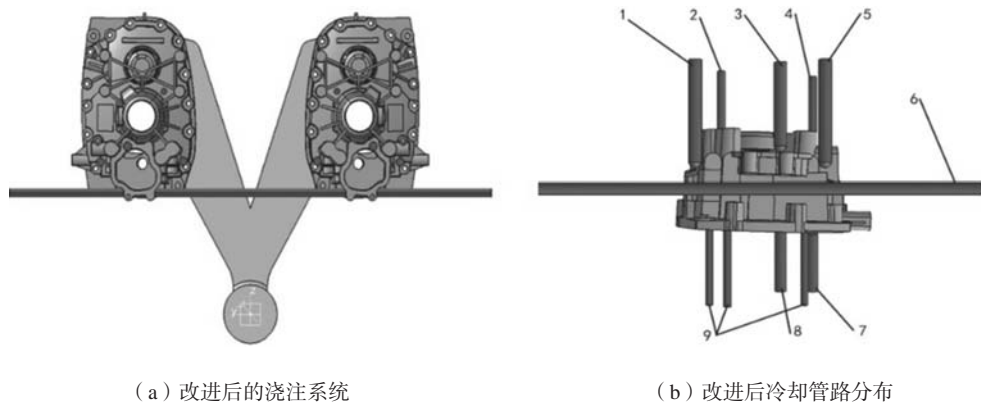


图5 改进后的浇注系统及冷却系统
Fig. 5 Improved gating system and cooling system

3.2 优化方案模拟

对优化后的工艺方案进行数值模拟，充型过程示踪粒子路径和凝固时的温度场变化如图6所示。可以看出，整个充型过程，浇道内金属液流动平稳，分离回流现象明显消除；凝固过程中，当 $t=1.209$ s时，除了薄壁肋板开始凝固外，施加冷却系统的壁厚处表面也开始慢慢凝固，当 $t=7.470$ s时，相较于未加冷却之前，壁厚区域基本完成凝固，主要是靠近浇口处一些区域还没有完全凝固，基本满足顺序凝固原则。对优化后的铸造缺陷进行预测，如图7所示。从图中看出，缩松缩孔和热裂纹缺陷都基本消除，说明优化方案可以明显提高铸件质量，满足要求。

表2 冷却工艺参数
Table 2 Cooling process parameters

管路编号	管路直径/mm	管路长度/mm	冷却水流量/($m^3 \cdot h^{-1}$)
1	15	140	3
2	10	175	2
3	15	118	2.5
4	10	130	2
5	15	140	3
6	15	900	3
7	15	92	2
8	15	150	3
9	8	180	2.5

3.3 优化方案验证

为了进一步验证改进后方案的可行性,对改进后的方案进行试制,实际生产的变速器壳体如图8所示。

经检验,铸件整体质量良好,未发现裂纹、缩孔、缩松等铸造缺陷,与上述模拟缺陷预测结果相符合。

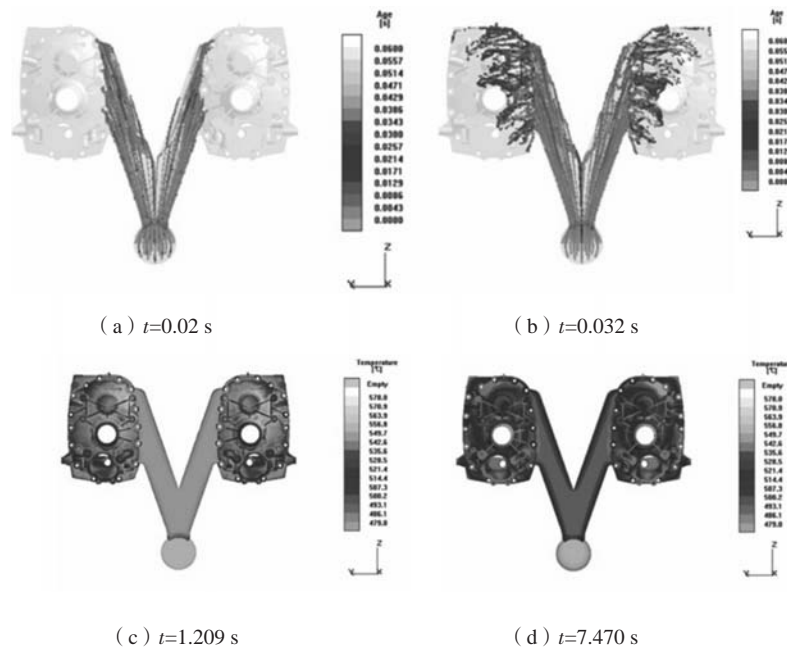


图6 优化后的充型过程及凝固温度场变化

Fig. 6 Change of mold filling process and solidification temperature field after die casting process optimization

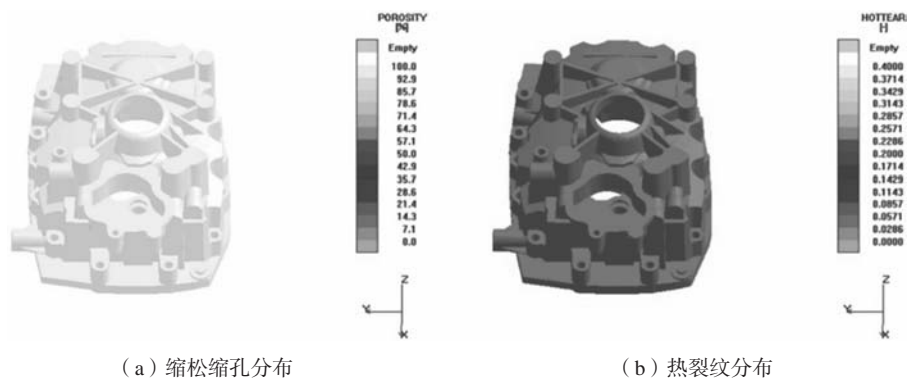


图7 优化后模拟缺陷预测

Fig. 7 Prediction of defects after die casting process optimization

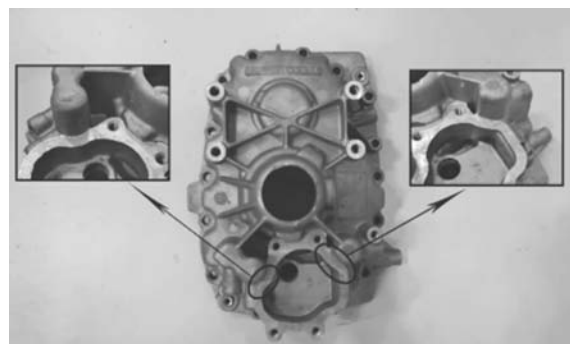


图8 变速器壳体实物图

Fig. 8 Physical picture of transmission case

4 结束语

运用成形过程数值模拟方法,以消除缩松缩孔、热裂纹为目的,对变速器壳体压铸工艺进行改进及优化。研究表明:改进的浇注系统能够有效解决充型不平稳问题,同时增加的冷却系统可以改善温度梯度,实现顺序凝固。通过实际生产验证,改进后的方案能够消除缩松缩孔和热裂纹缺陷,提高零件成形质量。

参考文献:

- [1] 胡溧,唐森泉,杨啟梁,等.某重型商用车变速箱壳体轻量化研究[J].机械传动,2020,44(4):26-31.
- [2] 高东强,翟彦青,朱小倩,等.汽车减速器箱盖砂型铸造工艺模拟分析[J].铸造,2020,69(5):523-527.
- [3] 周海军,陆建成,伍世添,等.变速箱壳体压铸工艺分析及缺陷改善[J].特种铸造及有色合金,2019,39(11):1216-1219.
- [4] 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.
- [5] 胡怡,汪东红,吴文云,等.复杂混流泵外壳铸造工艺设计与数值模拟[J].铸造,2019,68(9):1026-1030.
- [6] 李燕霞.U型支架铸造工艺设计[J].铸造,2020,69(1):89-92.

Design and Optimization of Die Casting Process for Aluminum Alloy Transmission Case

WU Yue-xiang, SU Xiao-ping

(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, Jiangsu, China)

Abstract:

Taking an aluminum alloy transmission case as the study object, the gating system was designed based on the characteristics of die casting and the structure of parts, and the initial process was simulated by using the Magma software. The results show that the mold filling is not stable and the solidification is not in order, resulting in shrinkage porosity and hot tearing. According to the simulation results and the reason analysis of the defects, the gating system was improved, and the cooling system was added. Finally, the qualified transmission case die castings that meet the requirements were obtained.

Key words:

transmission case; die casting; numerical simulation; process optimization
