

基于 CAE 分析的铝合金二合一壳体 压铸工艺设计与优化

雷书星, 侯志杰, 唐培洁, 宋晓红

(大连亚明汽车部件股份有限公司, 辽宁大连 116046)

摘要: 介绍了某新能源汽车二合一壳体结构特点。设计了初始压铸工艺并进行试产。借助 CAE 软件对壳体试件局部缺陷进行深入研究, 分析其产生原因, 确定了浇注系统优化改进方向, 解决了铸件内部气孔和渣孔缺陷。

关键词: 铝合金壳体; 压铸; 浇注系统; 气孔; 渣孔

近年来, 我国新能源汽车产业飞速发展, 新能源汽车正在成为汽车行业的“生力军”。电机和变速箱等驱动系统是新能源汽车的核心组成部分, 由电机和变速箱等动力系统和驱动系统合二为一设计的产品越来越得到新能源汽车行业的青睐^[1]。高压铸造生产能明显减小产品壁厚, 并保持结构强度。而且压铸接近净成形, 成本显著降低, 生产效率大大提高。由电机和变速箱组成的铝合金二合一壳体高压铸造生产已得到各大公司的认可。由于压铸工艺采用的是高速、高压的充型, 在压铸充填过程中极易卷入气体, 致使压铸件常有气孔及氧化夹杂等问题的存在^[2]。

1 产品分析

某新能源汽车铝合金二合一壳体如图1所示, 结构主要由两部分组成, 一部分为电机壳体, 另一部分为变速箱壳体。二合一壳体外形轮廓尺寸 $468\text{ mm} \times 312\text{ mm} \times 286\text{ mm}$, 最厚部分 29.8 mm , 电机壳体部分基本壁厚 7 mm , 变速箱壳体部分基本壁厚 5 mm , 结构比较复杂, 壳体体积 $4\,251\text{ cm}^3$, 重量 11.8 kg , 计划产量10万件/年。材料为Al-Si-Cu系合金, 执行标准为JISH5302—2000, 牌号为ADC12, 其液相线温度 $592\text{ }^\circ\text{C}$ 、固相线温度 $539\text{ }^\circ\text{C}$ ^[3]。因电机温度控制需要, 壳体内设计有冷却水道, 故有泄漏量限制。常温下在 300 kPa 压力测试, 保压 40 s 后测试泄漏量应在 $0.4\text{ cm}^3/\text{min}$ 以内。另外, 壳体有焊接需求, 其与水套环及水套进行搅拌摩擦焊接。

作者简介:

雷书星(1986-), 男, 高级工程师, 主要研究铝合金汽车核心零部件压铸和模具设计。电话: 18631243029, E-mail: shuxing_lei@163.com

中图分类号: TG249.2

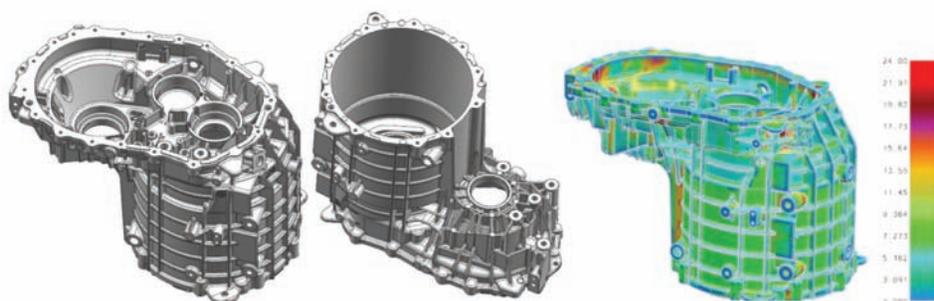
文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

02-0224-05

收稿日期:

2023-05-29 收到初稿,
2023-09-27 收到修订稿。



(a) 变速箱侧

(b) 电机壳侧

(c) 壁厚分析

图1 某二合一壳体

Fig. 1 Two-in-one housing

2 压铸工艺设计

二合壳体铸件体积大，铝液通过浇注系统后流程长，需要选择流程较短填充方案，经方案论证，确定“Y”型浇排整体方案，如图2a所示，为了减小填充

过程中浇道处的能量损失，采用鹰嘴型浇道。在末端分别设置渣包，将渣包通过排气道连接起来，汇集到1个排气口用来抽真空。

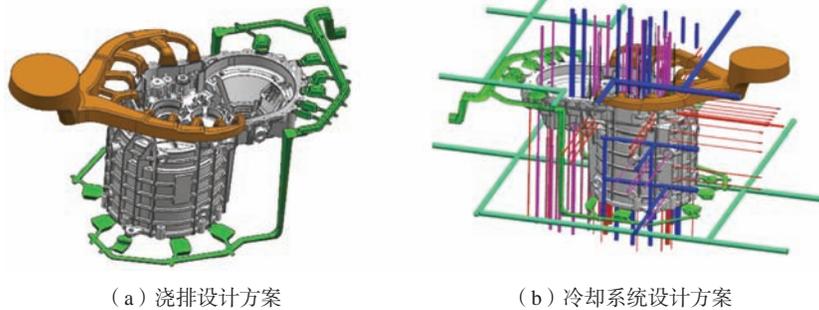


图2 浇排和冷却系统

Fig. 2 Gating, overflow and cooling systems

2.1 浇排系统设计

浇排系统能保证铸件充型时各区域合理配置，排气顺畅，尽可能减少气体的卷入。壳体两部分基本壁厚分别为7 mm和5 mm，内浇道速度为28~35 m/s，内浇道截面积为1 824 mm²，内浇道厚度5 mm，冲头直径150 mm，料缸充满度42%，内浇道截面积与活塞截面积为1:9.7。根据伯努利原理可得，当内浇道流速为35 m/s时，冲头速度为3.6 m/s。选用力劲集团DCC2500卧式冷室压铸机，锁模力25 000 kN。

排溢系统采用渣包与抽真空排气，采用抽真空减少了填充过程中铝液和型腔内空气的接触氧化，渣包有助于将压铸时混进铝液中的脱模剂、润滑颗粒、与空气接触的氧化夹渣、流动前端所卷入的气体从型腔排出，存放于渣包内，保证铸件的品质。抽真空系统选用海望公司HVY800-100SM V5抽真空机，其抽真空能力100 m³/h，配备液压式真空阀，生产过程中真空表显示100 mbar。表1内列出了浇排系统工艺参数。

表1 浇排系统参数
Table 1 Gating and overflow system parameters

铸件 质量/kg	浇道质 量/kg	渣包排气 质量/kg	总正投影 面积/cm ²	总质 量/kg
11.8	5.3	2.3	2 195	19.4

2.2 冷却系统设计

在铸件壁厚区域设置冷却水，确保壁厚区域冷却效果，避免壁厚区域出现缩松及缩孔。冷却系统设计时受顶针及型芯位置的影响，难以完全顾及铸件所有壁厚区域，但仍要尽可能兼顾模具热平衡与铸件厚壁区域的冷却。冷却系统见图2b，蓝色为常压冷却水

路，绿色为模温机油路，红色和洋红色为高压点冷。

3 数值模拟和铸件缺陷分析

采用Anycasting软件对所设计压铸浇排工艺方案进行数值模拟，分析铝合金液的填充效果，以及设计是否导致铸件内部缺陷。

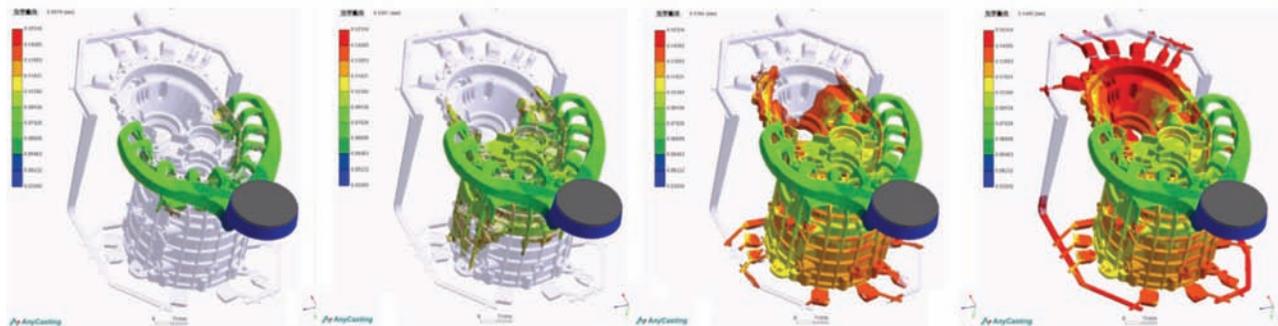
3.1 数值模拟分析

根据初始压铸工艺设计，在数值前处理中设置计算条件：浇注温度670 ℃；活塞直径150 mm；压射速度低速为0.8 m/s，高速为4.1 m/s；模具材料为SKD61钢，预热温度为180 ℃；冷却介质设置为水，控制进口水温为25 ℃；氧化夹渣选择Anycasting默认设置，515 ℃对应量纲0和浇注温度670 ℃对应量纲1；抽真空设置50 mbar。

铸件充型过程数值模拟结果如图3所示，从图中可以看出，铝液由左右两侧内浇道同时进入型腔，过程中铝液先填充浇道下方变速箱部分，进而填充电机壳部分，当电机壳部分填充基本完成后再填充无浇道的变速箱部分，电机壳动模侧圆周是充型末端，无浇道的变速箱壳部分也是充型末端。充型过程平稳，卷气情况较少，充型顺序和预期基本一致，型腔完全充满，没有出现浇不足的现象。

3.2 铸件缺陷分析

根据上述分析，在力劲DCC2500压铸机上试生产，压铸试生产后，首先对铸件进行X光探伤，对所有区域进行扫描和增强显示，检测压铸件的内部质量。经过多轮调试，二合一电机壳体内部缺陷主要集中在



(a) 填充浇道

(b) 填充变速箱

(c) 填充电机壳

(d) 填充末端

图3 充型顺序

Fig. 3 Filling sequence

浇道下方一处悬置孔位置,如图4所示,无法明显减小,达不到客户的验收标准。

采用Anycasting软件充型过程粒子追踪功能获得流场中的流线、涡旋等信息,如图5所示,从图中可以看出,充型过程铝液通过浇道以极高速度向下填充,在悬置孔下方遇到阻力后反向填充,进而沿着壳体厚壁充型,形成回卷涡流。型腔内的气体无法排出,另外铝液前端冷却的颗粒状铝渣无法排出型腔,其和未排出的气体混合在一起造成铸件局部气孔、渣孔。

4 浇注系统结构优化和数值模拟分析

使用UG软件优化二合一电机壳浇注系统,如图6所示,首先切断悬置孔附近的浇道,改为渣包,将悬置孔充填过程中涡流卷气造成的缺陷排出铸件外部,作为方案一;因封堵一处浇道造成整体的浇道面积减小,所以将切断的浇道两侧的浇道加大作为方案二;切断的浇道左侧的浇道不加大作为方案三,验证充型效果。

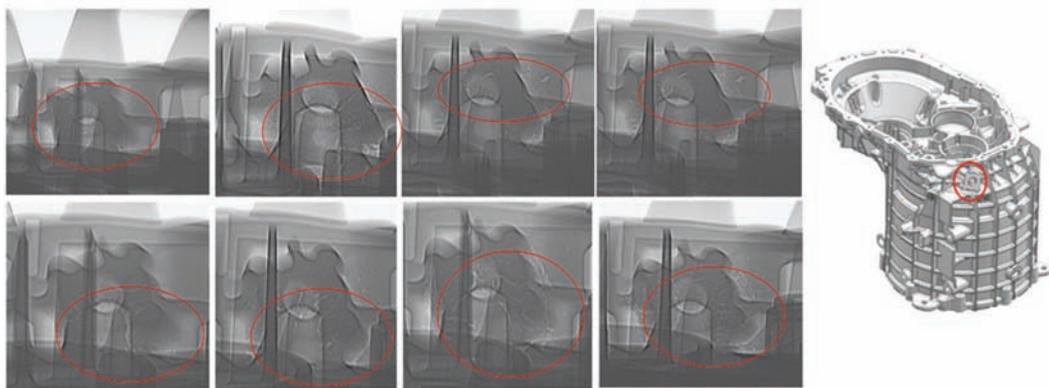
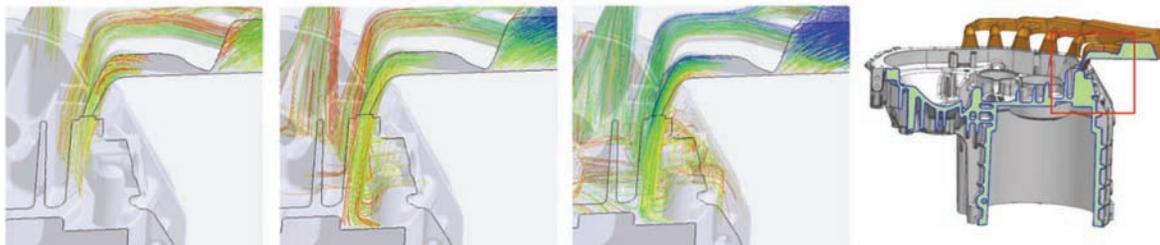


图4 铸件内部气孔和渣孔缺陷

Fig. 4 Blowholes and slag inclusions in the casting



(a) 铝液通过浇道

(b) 铝液遇到阻力

(c) 铝液回卷涡流

(d) 查看切面

图5 充型过程粒子跟踪分析

Fig. 5 Particle tracking analysis during filling process

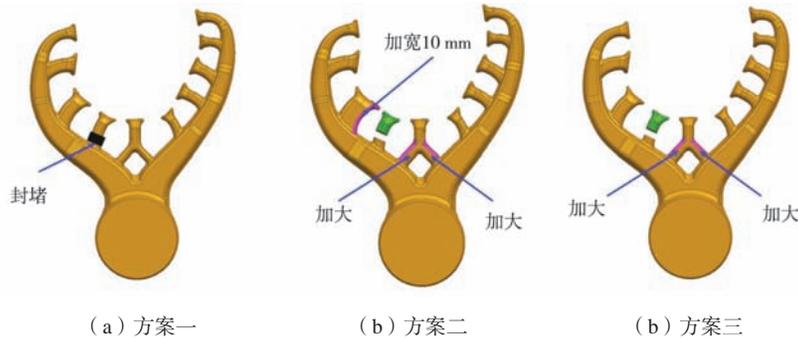


图6 浇注系统改进方案

Fig. 6 Improvingschemes of gating system

采用上述三种浇注系统方案，分别采用Anycasting软件进行数值模拟分析，查看浇道下方悬置孔部位的充型效果。如图7所示，方案一中，铝液在渣包口左侧进入渣包后又在右侧有挤压排入型腔的趋势；方案二中，铝液在渣包口右侧进入渣包后又在左侧大量挤压排入型腔；方案三中，铝液汇入渣包后未发现回流进入型腔的现象。

综上所述，方案三浇注系统最为理想；在方案三的基础上加大渣包体积，改善充型效果，如图8a所示，作为最终的浇注系统改善方案。

5 优化效果

本研究过程中，首先通过对铸件结构特征分析，设计了初始压铸工艺并试产铸件；其次，通过对试产铸件缺陷分析并通过多次浇注系统设计调整，确定了浇注系统整体方案；第三，进一步对铸件悬置孔局部缺陷分析，确定了改进方案；最后，针对改进方案，加大渣包体积，确定最终优化浇注系统结构。以上过程中多次用到数值模拟技术分析缺陷产生的原因，找到了工艺完善方向。模具试模验证浇注系统有效，气体和夹渣进入了渣包，消除了悬置孔部位气孔和渣孔缺陷，如图8b所示。

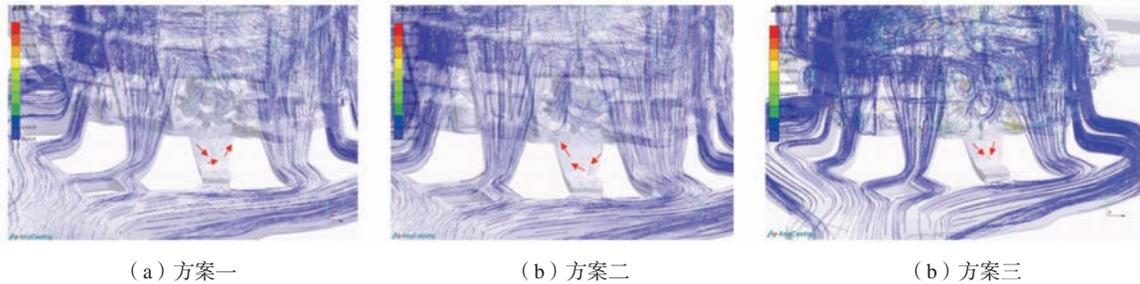


图7 针对不同浇注系统改进方案的数值模拟结果

Fig. 7 Numerical simulation results for different modified gating system schemes

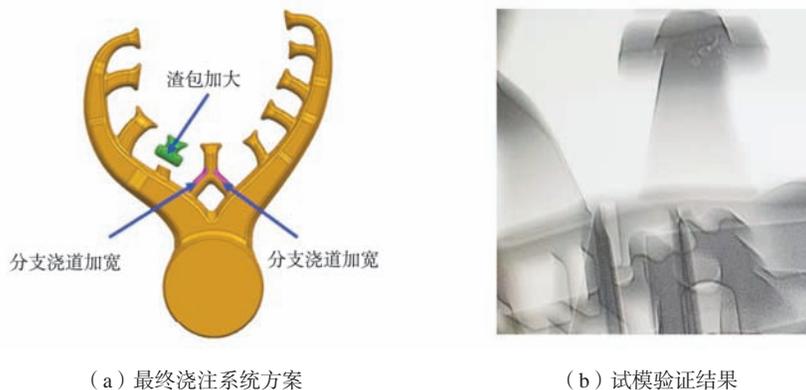


图8 最终浇注系统方案和试模验证结果

Fig. 8 Final gating system scheme and die test verification results

6 结束语

针对某新能源轿车铝合金二合一壳体成形需求，反复运用Anycasting软件和工艺试验进行压铸工艺改

进完善，分析并发现铸件充型过程局部涡流、卷气导致铸件缺陷的原因，最后得到优化的浇注系统设计方案，经过试模验证，证明了优化方案的可行性。

参考文献:

- [1] 赵怡军. 我国新能源汽车技术发展的挑战与前景 [J]. 时代汽车, 2023 (3): 124-126.
- [2] 徐善状, 高健. 基于CAE的铝合金变速箱支架压铸工艺设计及优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2022 (12): 129-132.
- [3] 王绍著, 赵密, 胡茂良, 等. 近液相线挤压铸造工艺对ADC12铝合金支架显微组织和力学性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2015, 25 (6): 1428-1434.

Design and Optimization of Die-Casting Process for Aluminum Alloy Two-In-One Shell Based on CAE Analysis

LEI Shu-xing, HOU Zhi-jie, TANG Pei-jie, SONG Xiao-hong
(Dalian Yaming Automotive Parts Co.Ltd., Dalian 116046, Liaoning, China)

Abstract:

The structural characteristics of a two-in-one shell used for new type energy vehicle is introduced. An initial die-casting process was designed and trial production is carried out. With the aid of CAE software, the local defects of the housing test-pieces and the generation causes of them were further investigated and analyzed, and the direction of optimizing and improving for the gating system was determined, and the defects of the blowholes and slag holes in the castings had been solved.

Key words:

aluminum housing; die-casting; gating system; blowholes; slag inclusions
