

大型复杂离合器壳体高致密化压铸

李建宇¹, 管胜敏², 吴树森¹, 蔡恒志³, 安肇勇², 梁舒洁³, 吕书林¹

(1. 华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室, 湖北武汉 430074; 2. 广东鸿图武汉压铸有限公司, 湖北武汉 430200; 3. 深圳领威科技有限公司, 广东深圳 518109)

摘要: 为了生产大型复杂高致密离合器壳体零件, 研究开发了用于高真空压铸的多向高速实时控制抽真空系统。同时, 采用数值模拟软件分析压铸过程中的卷气、缩孔缩松、浇不足等缺陷, 并进行压铸工艺优化。真空压铸铝合金铸件内部孔洞缺陷的改善状况表明, 多向高速实时控制抽真空系统用于压铸机辅助抽真空, 几乎完全消除了铸件的气孔、缩松缺陷, 产品的内部质量良好, 合格率明显提高。

关键词: 真空压铸; 铝合金; 离合器壳体; 数值模拟

近年来, 随着轻量化及节能减排的需要, 铝合金在航空航天、汽车及船舶等交通运输领域的应用越来越多^[1-4]。汽车上许多零部件已采用以铝代钢, 可实现40%~50%的减重。离合器壳体是一种大型的复杂薄壁铸件, 两端分别连接发动机体和变速箱体, 非承载结构件, 因而适宜采用铝合金制造^[4-5]。离合器壳体铸件除了要求具有良好的强度和耐磨性, 对气密性要求也较高, 通常需在0.15~0.2 MPa气压下, 泄漏量小于5 cm³/min^[6-7]。但普通压铸生产往往在充型过程中会产生卷气, 形成气孔、缩孔或缩松等缺陷, 以致零件在使用中会产生泄露, 直至失效报废。因此, 为了消除气孔缺陷、提高产品质量, 需采用先进的高真空压铸工艺, 并采取一些工艺措施, 以实现高致密化压铸, 从而防止泄露。

由于离合器壳体形状复杂、壁厚不均匀, 常采用数值模拟软件模拟分析金属液在压铸模具中复杂的充型、凝固过程^[8-9]。然而, 很少针对多向高速实时控制抽真空系统^[10]的工作性能及使用效果进行模拟分析。通常, 除了为零件确定好最优的浇注系统及模具冷却系统, 对于气密性要求较高的离合器壳体零件, 真空系统的技术参数最优化也非常重要, 高真空压铸工艺能显著减少压铸模具型腔内的气体, 以提高压铸件的力学性能和表面品质。所谓多向高速实时控制抽真空系统^[10], 主要是指在铝液充型过程中从模具型腔、压射室、模架等同时进行抽真空, 以便快速实现高真空度压铸。也需要根据零件的具体情况模拟预测铸件内部气孔缺陷的改善状况, 来评价真空系统的使用效果, 从而确定合理的真空系统技术参数。

本研究针对大型复杂离合器壳体零件, 通过分析离合器壳体的结构特点, 利用多向高速实时控制抽真空系统用于压铸机辅助抽真空, 并利用Flow-3D软件对离合器壳体高真空压铸过程进行模拟及工艺优化, 从而消除气孔缺陷, 最终获得高质量产品。

1 离合器壳体结构分析

图1为离合器壳体零件的三维图。零件质量为11.4 kg, 材料为ADC12铝合金。铸件投影面积为178 200 mm², 平均壁厚为3.7 mm, 属于结构复杂的大型薄壁铸件。生产试验所用的压铸机为力劲1 600 t卧式冷室压铸机。离合器壳体是耐高压密封件, 它对强度、耐磨性和气密性等的要求很高, 通常要求在0.2 MPa的压力下, 泄漏量小于5 cm³/min。

作者简介:

李建宇(1993-), 男, 博士生, 主要研究方向为铝合金材料及成形技术。电话: 18202717419

通讯作者:

吴树森, 男, 教授。电话: 027-87556262, E-mail: ssw636@hust.edu.cn

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)

11-1198-05

基金项目:

广东省重点领域研发计划项目(2019B090921001); 湖北省技术创新专项重大项目(2017AAA110)。

收稿日期:

2020-05-08 收到初稿,

2020-07-04 收到修订稿。

2 离合器壳体高真空压铸工艺

图2a为非真空普通压铸生产离合器壳体的局部区域。图2b为零件局部的X射线检测结果。在轴承孔周边多股金属液交汇处会产生大量气孔，如图2a椭圆区域，内部质量达不到X光检测质量要求而报废。从离合器壳体内部气孔的X射线（图2b）可以更清楚地看出，铸件内部气孔较多，产品品质较差。因此，为了消除气孔缺陷、提高产品质量，采用新型的多向高速实时控制抽真空系统用于高真空压铸，实现高致密化压铸。

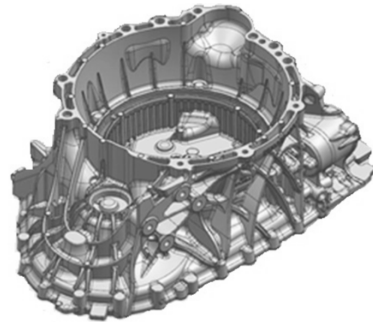
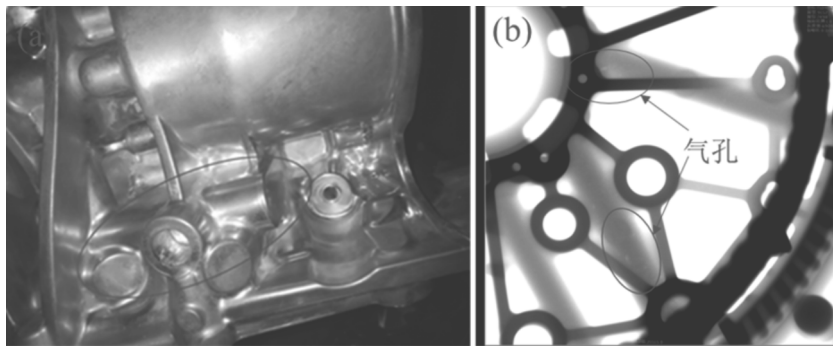


图1 离合器壳体三维图
Fig. 1 3D diagram of clutch housing



(a) 零件局部 (b) X射线照片

图2 普通压铸生产的离合器壳体铸件

Fig. 2 Clutch housing produced by non-vacuum die casting

图3为带抽气通道、浇注系统和溢流槽等的离合器壳体压铸工艺^[1]。离合器壳体的高真空压铸模具通过压射位置控制高真空系统的开关。抽真空工作过程：压铸时，当压射冲头到达真空启动的位置时，真空泵启动，压射冲头继续前进；当冲头到达关闭真空泵的位置后，真空泵抽气结束。因此，对于多向抽真空压铸系统，需要确定泵启动真空极限值、泵停止真空极限值以及抽真空行程（冲头位置）设置。泵启动真空极限值和泵停止真空极限值设置得越大，真空泵维持的真空度越高，每当多次抽气后低于泵启动真空极限值时，泵才重新启动继续抽真空。抽真空行程设置是抽真空系统最为关键的参数，主要根据铝液的浇注量、压室的尺寸来确定。根据试生产的情况，确定系统的X1-X4参数值如图4所示。

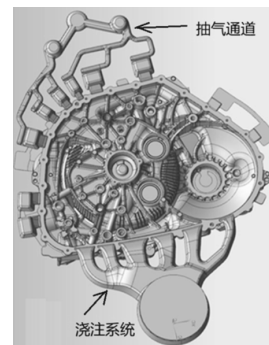


图3 离合器壳体真空压铸工艺

Fig. 3 High vacuum die casting process for clutch housing

3 离合器壳体高真空压铸过程模拟及工艺优化

为了缩短开发周期，得出高真空工艺使用的最优技术参数，根据现有的浇注系统和抽真空系统，借助Flow-3D模拟分析软件对铸件的充型及凝固过程进行分析，以了解铸件卷气情况及在冷却凝固过程气孔缺陷



图4 离合器壳体试生产所用抽真空行程参数

Fig. 4 Vacuum stroke parameters used for trial production of clutch housing

产生的位置及大小。Flow-3D特有的FAVOR（部分面积/体积表示法）方法可以定义光滑的曲面，精确表示复杂的几何形状，避免出现台阶状的表面，以改善流动和热传导分析精度。此外，该软件使用TruVOF方法，精确模拟自由表面的位置、运动及对流体的影响，适合计算高速流动状态。在铸件充型过程的模拟中，将液态金属看作不可压缩流体，液态金属充型的模拟，实际就是求解一组非稳态的流体流动控制方程组。求解后即可获得压铸过程的流动场及温度场。可以分析压铸过程中的卷气、缩孔缩松、浇不足等缺陷。

根据实际的压铸工艺参数设定模拟参数，模拟过程中型腔的真空度设定为90 kPa，材料为ADC12压铸铝合金。根据零件的结构特征，所设计的压射工艺参数为：慢速压射速度0.2 m/s，快速压射速度4.5 m/s，高速

切换点0.51 s。

图5为离合器壳体充型过程模拟中金属液的温度变化和卷气情况。由图5a-d可知，金属液通过设计好的浇注系统能平稳地充填型腔，零件自下而上依次充型。同时，根据模拟结果还可以看出，经多向高速实时控制抽真空系统辅助压铸机抽真空后，在充型过程中卷气含量明显降低，最大值仅有0.635%，如图5e-h所示。此外，在最后充型阶段，存在一些温度较低、卷气量较大的金属液，但均进入设计好的溢流槽中，零件脱模后可以去除。

图6为离合器壳体充型完毕时的温度场及卷气情况。可知，充型结束时，零件内部温度较为均匀，且卷入零件内部的气体含量较少。该模拟结果表明真空压铸能完全消除气孔缺陷，实现高致密化压铸。

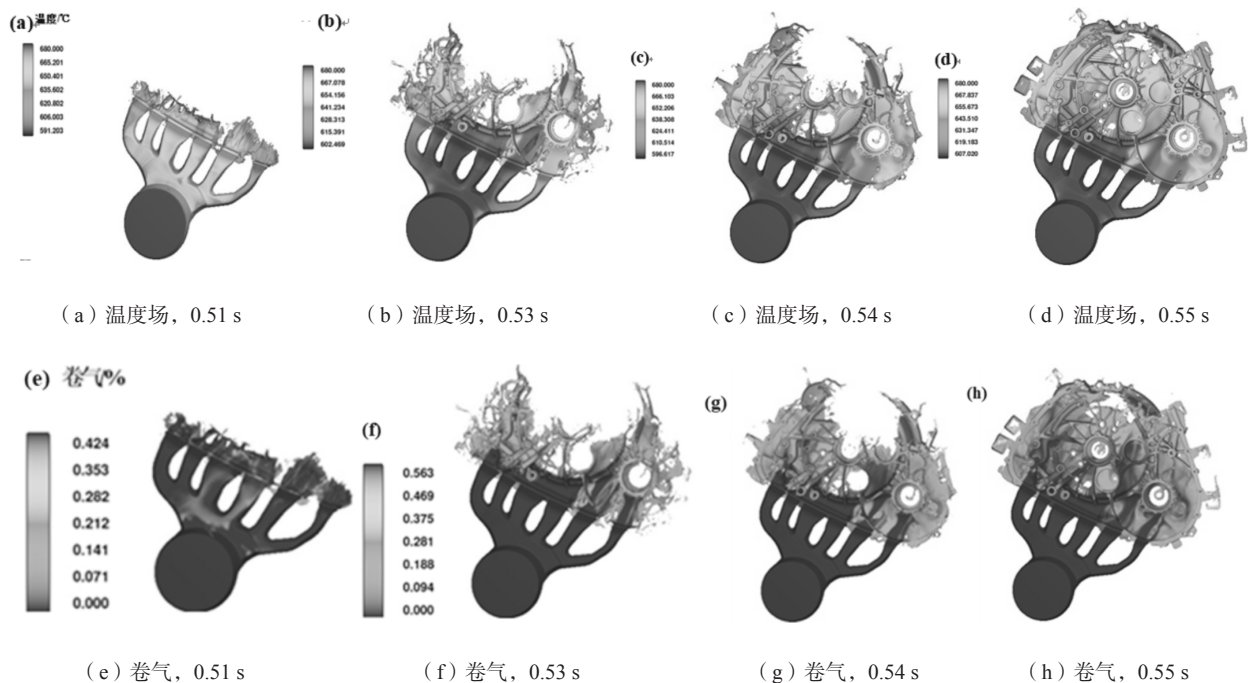


图5 离合器壳体真空压铸充型过程中的温度场和卷气情况

Fig. 5 Temperature field and air entrainment in the process of vacuum die casting clutch housing

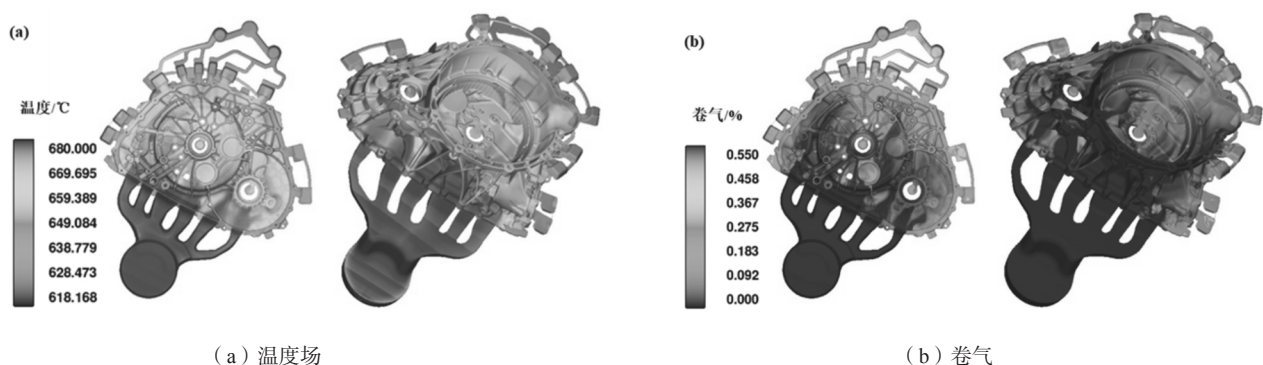


图6 离合器壳体充型完毕时(0.56 s)的温度场及卷气情况

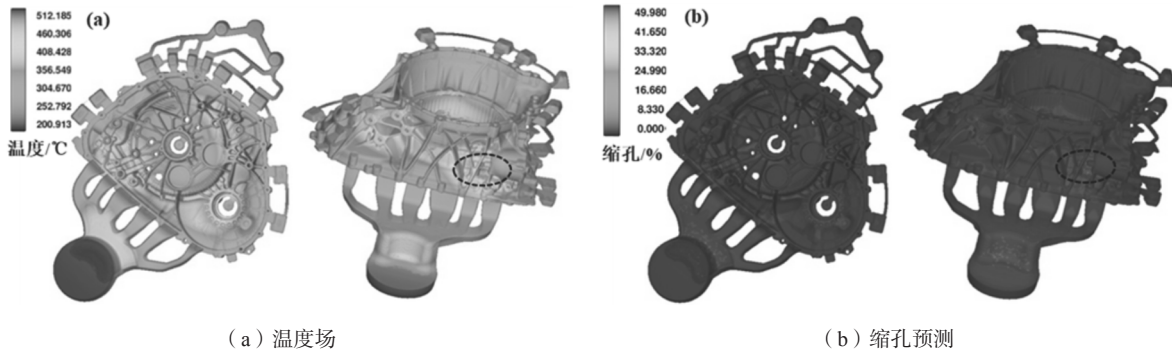
Fig. 6 Temperature field and air entrainment when the mold fill of clutch housing completes at 0.56 s

图7为金属液凝固模拟结果，图示为完全凝固后零件的温度和缩孔缺陷分布情况。可以看出，所得零件绝大部分区域温度差异较小，仅在左侧复杂结构处存在小范围的过热区域，且在此处存在少量缩孔，如图中圈出区域。结合图6中金属液的温度及卷气特征，充型结束时缺陷处并未有明显的气体残留，因而此处的缺陷主要源于其复杂结构及厚大尺寸，凝固时存在一定程度的收缩，导致最终完全凝固时少量缩孔的形成^[12-13]。为了消除该缺陷，通过在此处增设冷却水道，降低该处模具温度，使此处合金液优先冷却凝固，从而消除收缩缺陷。

综上模拟结果，表明采用多向高速实时控制抽真

空系统用于压铸机辅助抽真空，几乎能完全消除气孔缺陷，实现离合器壳体的高致密化压铸。通过数值模拟分析了离合器壳体的卷气发生部位，预测了压铸缺陷的种类及位置，在此基础上优化了抽真空系统的设计，并结合高真空工艺多次试制的试验结果，得出了高真空压铸工艺使用的最优参数。

图8为在优化的工艺条件下高真空压铸试制的离合器壳体零件，外形完整。图9为该零件的X射线检验照片。由图可知，X射线检测并未发现明显的缩孔，而且零件外部完整，未发现浇不足等缺陷。相比于普通压铸生产的离合器壳体，真空压铸几乎完全消除了零件内部的气孔缺陷，产品的内部质量明显提高。此外，

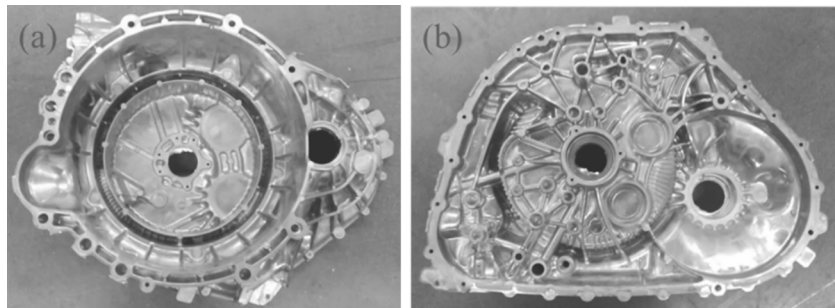


(a) 温度场

(b) 缩孔预测

图7 离合器壳体凝固完毕时(38.31 s)的温度场与缩孔缺陷

Fig. 7 Temperature field and shrinkage hole defects when the clutch housing completely solidifies at 38.31 s



(a) 正面

(b) 反面

图8 高真空压铸离合器壳体零件

Fig. 8 Clutch housing produced by high vacuum die casting

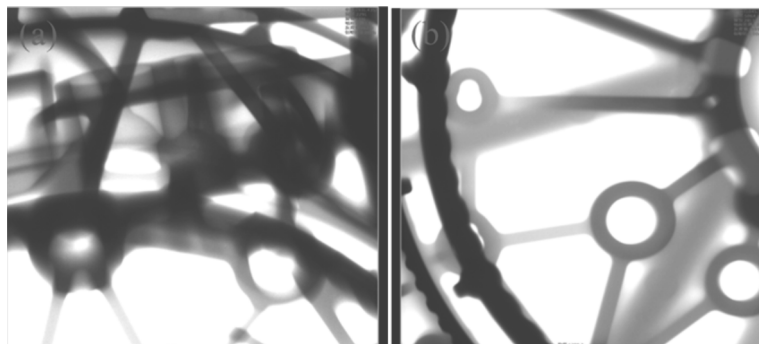


图9 高真空压铸离合器壳体X射线照片

Fig. 9 X-ray pictures of clutch housing produced by high vacuum die casting

机加工后产品渗漏等测试结果显示,产品合格率达到97.5%,而普通压铸的产品合格率仅为91.8%,合格率提高了6.2%。该试验结果与上述模拟结果较好地吻合,表明多向高速实时控制抽真空系统用于压铸机辅助抽真空,几乎完全消除了气孔缺陷,实现离合器壳体的高致密化压铸,大大地提高产品的质量。

4 结束语

设计并优化出铝合金离合器壳体的多向高速实时控制抽真空系统压铸工艺,实现该零件的高致密化压铸。利用数值模拟分析预测了离合器壳体在压铸过程中的卷气、缩孔缩松、浇不足等缺陷分布情况,从而进一步优化工艺,最终获得高质量铸件。

参考文献:

- [1] LUO A A, SACHDEV A K, POWELL B R. Advanced casting technologies for lightweight automotive applications [J]. China Foundry, 2010, 7 (4): 463-469.
- [2] 张百在, 万里, 黄志垣. 大型复杂铝合金汽车动力部件的压铸技术开发及质量控制 [J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29 (3): 219-222.
- [3] 黄正华, 张银帅, 宋东福, 等. 压铸铝合金的应用及研究进展 [J]. 材料研究与应用, 2017, 11 (1): 1-5.
- [4] 周林东, 杨雄, 王春涛, 等. 汽车铝合金减震塔的压铸工艺优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 36 (6): 626-629.
- [5] 张伟, 方健儒, 熊守美, 等. 奔腾B50离合器壳体压铸模冷却系统优化 [J]. 铸造, 2013, 62 (3): 191-195.
- [6] 徐飞跃, 余亮, 汪学阳, 等. 压铸铝合金离合器壳体的泄漏缺陷分析与对策 [J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34 (7): 715-718.
- [7] 胡济川. 离合器壳体压铸工艺优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 1994 (3): 27-29.
- [8] 姚杰, 张继斌, 林真, 等. 一种手动变速箱离合器壳体压铸工艺的优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2015, 35 (6): 610-613.
- [9] 杨新强, 传海军, 万晓萌. 复杂离合器壳体压铸缺陷的工艺研究 [J]. 铸造技术, 2015, 36 (8): 2174-2178.
- [10] 吴树森, 张东城, 吕书林, 等. 一种压铸模具的高真空度快速实现装置: CN 108480597A [P]. 2019-10-25.
- [11] 黄勇. 压铸模具简明设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [12] 吴春苗. 压铸技术手册 [M]. 广东: 广东科技出版社, 2007.
- [13] 日本铸造工学会. 压力铸造缺陷、问题及对策实例集 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.

High Densification Die Casting of Large Complex Clutch Housing

LI Jian-yu¹, GUAN Sheng-min², WU Shu-sen¹, CAI Heng-zhi³, AN Zhao-yong², LIANG Shu-jie³, LYU Shu-lin¹

(1. State Key Lab of Materials Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Guangdong Hongtu Wuhan Die-Casting Co., Ltd., Wuhan 430200, Hubei, China; 3. Shenzhen Lingwei Technology Co., Ltd., Shenzhen 518109, Guangdong, China)

Abstract:

A multi-directional high-speed real-time control vacuum pumping system for high vacuum die casting was developed to produce the large and complex clutch housing parts with compact internal structure. At the same time, the Flow-3D numerical simulation software was used to analyze the defects such as air entrainment, shrinkage porosity and short-run produced in the process of die casting. Based on the simulation results, the die-casting process was optimized and the large and complex clutch housing castings were produced. Results indicates that the application of the multi-directional high-speed real-time control vacuum pumping system to the auxiliary vacuum pumping of the die casting machine, almost completely eliminates the blowhole and shrinkage porosity defects of aluminum alloy die castings. It improves not only the internal quality of the product but also the qualified rate.

Key words:

vacuum die-casting; aluminum alloy; clutch housing; numerical simulation