

压壳铸件的铸造工艺设计及试生产

马玉琪¹, 于伟业², 刘瑞祥¹, 曾雯雯¹, 史书考¹, 王承云¹, 张伟¹, 向青春¹

(1. 沈阳工业大学材料科学与工程学院, 辽宁沈阳 110870; 2. 大连博斯特电机有限公司, 辽宁大连 116033)

摘要: 压壳铸件应用于许多流体工程领域中。根据压壳铸件的结构特点, 首先基于其CAD图利用UG软件对该铸件进行了三维建模, 然后设计其铸造工艺方案, 并利用数值模拟软件ProCAST进行了工艺方案优化, 分析了铸件的充型过程、凝固过程及缩孔、缩松缺陷分布等, 最终确定了压壳铸件的最佳铸造工艺方案。再采用树脂砂利用数字化无模精密铸造成形机加工出砂型及砂芯, 然后合型, 熔炼金属液, 进行实际浇注, 对压壳铸件进行了试生产。所获得的铸件完全符合图纸的技术要求, 为该压壳铸件采用重力铸造方法进行下一步中试生产奠定了工艺基础, 同时也为其他压壳类铸件的铸造工艺设计提供了一定参考。

关键词: 压壳铸件; 铝合金; 铸造工艺设计; 数值模拟; 试生产

作者简介:

马玉琪(1998-), 男, 硕士生, 主要从事铸造新材料与新工艺方面的研究工作。E-mail: myq1553207650@163.com

通讯作者:

向青春, 男, 博士, 教授。E-mail: xiangqchun@yeah.net

中图分类号: TG292

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

08-1040-05

基金项目:

沈阳工业大学 2020 年度本科教育教学改革研究重点项目(100020238); 沈阳工业大学 2020 年创新创业竞赛培育项目(100600041); 沈阳工业大学 2020 年专创融合课程建设项目(100600056)。

收稿日期:

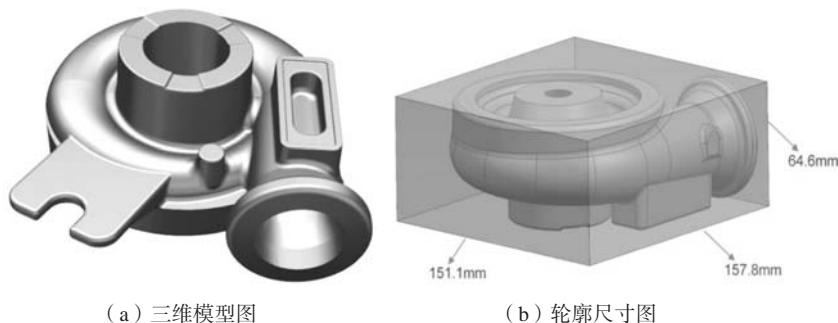
2021-12-20 收到初稿,

2022-01-18 收到修订稿。

压壳铸件在实际工程领域中有着广泛应用, 它的主要作用是通过将流体吸入其内部, 将流体的动能转化为压力, 从而实现其整体的压力平衡, 因此压壳铸件需要具有一定的强度, 并且在使用前要进行水压强度实验和气压渗漏性实验^[1]。由于压壳铸件内部中空, 因此需要用砂芯来进行成形。数字化无模精密铸造成形技术无需制造模具或模样, 具有生产周期短、工艺试制成本低、数字化程度高、绿色化程度好等特点, 特别适合于铸件的工艺开发和生产试制^[2-3]。文中利用CAD/CAE/CAM技术以及数字化无模精密铸造成形技术, 进行了铝合金压壳铸件的三维造型、铸造工艺设计及优化, 最终进行了生产试制。

1 铸件的结构特点及要求

该压壳铸件的基本尺寸为157.8 mm × 151.1 mm × 64.6 mm, 材质为AlSi7Mg0.3, 重量为0.91 kg, 铸件的三维模型及主要尺寸如图1所示, 属于小型复杂件。其技术要求包括: 未注铸造公差应符合BS6615/ISO 8062及工程标准E3-20, 缺陷需符合工程规范E4-05-006, 铸件需符合材料规范中的相关质量要求。该铸件的最小壁厚为4 mm, 多个面要求不允许存在飞边、毛刺和凸起, 因此需要着重考虑好浇注位置和分型面; 此外, 该铸件最大截面不在同一平面上, 因此要合理设计好分型面。



(a) 三维模型图

(b) 轮廓尺寸图

图1 铸件的三维模型及轮廓尺寸

Fig. 1 3D modeling and contour sizes of the shell body casting

该压壳铸件的中间部位和垂直法兰处壁厚相对较大,容易形成热节,易在凝固过程中形成收缩缺陷,因此,在这两个位置要添加冒口进行补缩。

2 铸造工艺方案设计

2.1 浇注位置及分型面

首先,确定其浇注位置及分型面。由于采用数字化无模铸造精密成形机进行造型,因此,在设计其浇注位置及分型面时要考虑机器是否可以将相应的砂型和砂芯铣出。通过查阅铸造工艺手册^[4]及比较不同浇注位置的优缺点之后,选择如图2所示的浇注位置和分型面,其优点是壁厚最大处位于上部有利于实现顺序凝固,测量基准面位于下部,易于保证铸造质量;分型面总体为平面,局部为曲面分型,造型相对简单,且不存在影响图纸技术要求的平面(多个面要求不允许存在飞边、毛刺和凸起)。

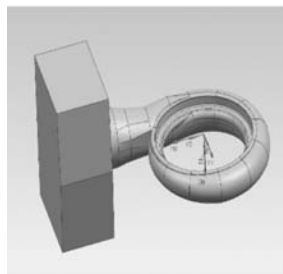


图2 浇注位置和分型面

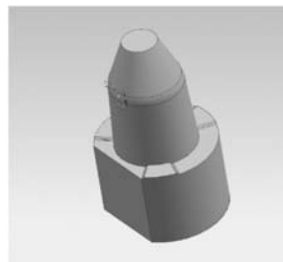
Fig. 2 Pouring position and parting surface

2.2 砂芯及浇注系统设计

根据铸件结构,设计了两个砂芯,如图3所示。



(a) 1#砂芯



(b) 2#砂芯

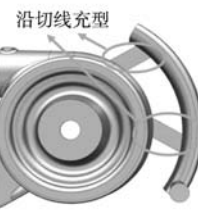
图3 两个砂芯的三维模型图

Fig. 3 3D models of two sand cores

由于该件为小型铸铝件,在查铸造手册和相关资料后得知,铸铝件主要采用开放式浇注系统。开放式浇注系统在充型时可以保证充型液流速低,从而充型平稳,还可以避免紊流和氧化膜卷入,从而保证进入型腔中的金属液相对纯净,故本次工艺采用开放式浇注系统,各浇道截面比为 $\Sigma A_{直} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{内} = 1 : 1.4 : 1.3$ 。而且,采用中注式浇注系统,金属液从中部流入型腔。由于该件结构为涡轮壳体结构,易在充型过程中产生卷气的现象,因此侧边注入式的内浇道部分采用沿切线方向进行充型,这样可以减轻卷气,同时更有利于金属液平稳地进入型腔。浇注系统的形状如图4所示。



(a) 主视图



(b) 俯视图

图4 浇注系统设计

Fig. 4 Design of the gating system

对于铝合金的浇注时间,可采用如下经验公式进行计算^[5]:

$$t = s \times \sqrt[3]{G} \quad (1)$$

式中: t 为浇注时间; s ; s 为系数,一般情况下取 $s=3$; G 为型内金属液总重,kg。

由此计算出浇注时间为 $t=3.27$ s,为了在实际浇注中便于控制浇注时间,取浇注时间为3 s。

查阅铝合金手册,采用公式(2)计算直浇道截面积:

$$\Sigma A_{直} = \frac{G}{\eta \times t \times \sqrt{H}} \quad (2)$$

式中: $\Sigma A_{直}$ 为直浇道最狭窄处总截面积,cm²; η 为系数,通常取0.04~0.07; H 为平均压头,cm,其计算公式见式(3)。

$$H = H_0 + \frac{h_0^2}{2h} \quad (3)$$

式中: H_0 内浇道以上的直浇道高度,cm; h_0 内浇道以上的铸件高度,cm; h 为铸件高度,cm。

经计算得直浇道横截面积为2 cm²。最终通过计算获得的浇注系统各部分的横截面及其尺寸如图5所示。

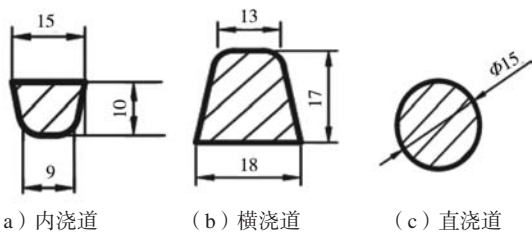


图5 浇注系统各部分的横截面及其尺寸

Fig. 5 Cross sections and related sizes of each part of the gating system

3 铸造工艺的初步模拟与分析

利用ProCAST软件对该压壳铸件的初步工艺进行了模拟，其充型凝固过程模拟结果如图6和图7所示。

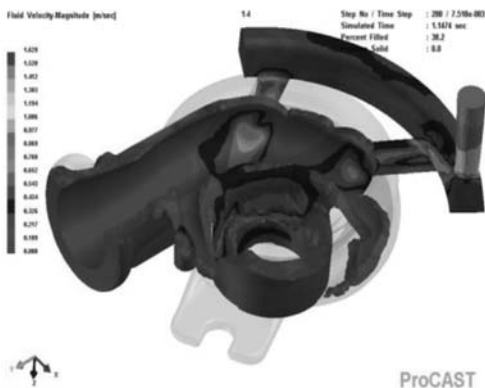


图6 1.1 s时刻铸件的充型速度场

Fig. 6 Mold filling velocity field of solidification temperature field of the casting at 1.1 s

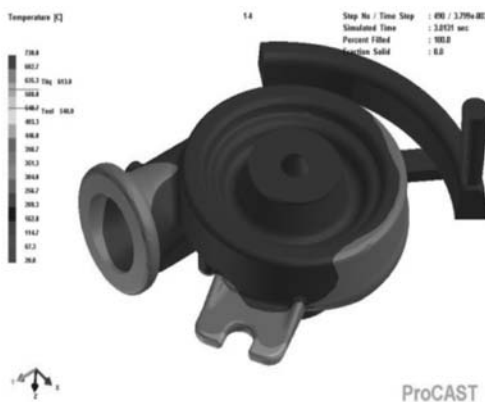


图7 3 s时刻铸件的充型凝固温度场

Fig. 7 Mold filling and the casting at 3 s

从图中可以看出，金属液沿着内浇道贴型腔壁注入然后逐渐充满型腔，在整个充型过程中，金属液流

动相对较平稳，没有出现明显的卷气现象。该压壳铸件的缩松、缩孔模拟结果如图8所示。

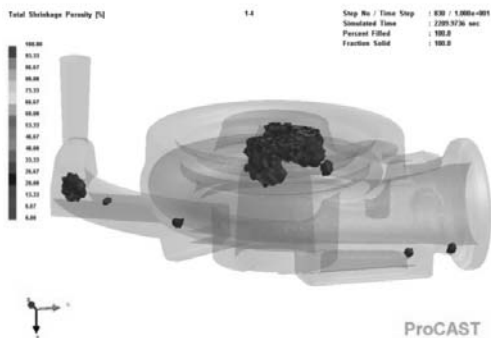


图8 缩孔、缩松缺陷模拟结果

Fig. 8 Simulation results of the shrinkage cavity and porosity defects

从图8中可以看出，除了浇注系统之外，缩孔、缩松缺陷主要集中在铸件顶部与靠近中部的厚大部分处，法兰下部和法兰后凸台处也出现少量缺陷。这些缺陷出现的原因主要是这几处部位均壁厚相对较大且散热不易。

4 铸造工艺的优化

根据压壳铸件的形状特点以及上述模拟结果，对铸造工艺进行了优化^[6-10]，设计了明顶冒口，设置明顶冒口的目的是对铸件顶部进行补缩，以消除铸件顶部与靠近中部厚大部分处的缩孔、缩松缺陷。同时，在法兰顶部添加了1个扁出气冒口，可以对法兰部位的液态及凝固收缩进行补缩，而且与法兰底部放置的一块半圆形随形冷铁相配合，可以调节法兰部位的温度场分布，以消除法兰部位的少量缩孔、缩松缺陷。此外还添加了4个圆形出气孔，主要是加强型腔内气体的排出。优化后的铸造工艺方案如图9所示。用ProCAST软件进行模拟，缩孔、缩松缺陷模拟结果如图10所示。

从图10中可以看出，压壳铸件本体内缩孔、缩松缺陷全部消除。因此，采用如图9所示的最终铸造工艺方案进行生产试制。

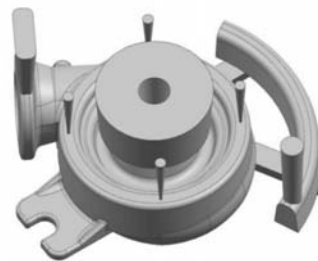


图9 优化后的铸造工艺方案

Fig. 9 Casting process scheme of the shell body casting after optimization

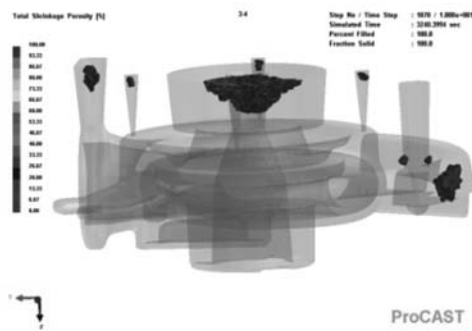


图10 优化工艺方案的缩孔缩松缺陷模拟结果
Fig. 10 Simulation results of shrinkage defects in the shell body casting after process optimization

5 压壳铸件的实际生产

5.1 铸型的加工处理

采用树脂砂利用数字化无模精密铸造成形机（型号为CAMTC-SMM2000）分别进行上型、下型和砂芯的数控加工。利用UG软件的加工模块生成砂型和砂芯的加工刀路，其中粗加工选用的刀具为 $\Phi 8$ mm的平刀；精加工时，选用 $\Phi 6$ mm的球刀，切削参数中的连接改为沿部件斜进刀，在层与层之间切削。

在加工好后的砂型和砂芯上分别涂刷醇基锆英粉涂料，刷好涂料的砂型和砂芯如图11所示。装配好砂芯的下型如图12所示。

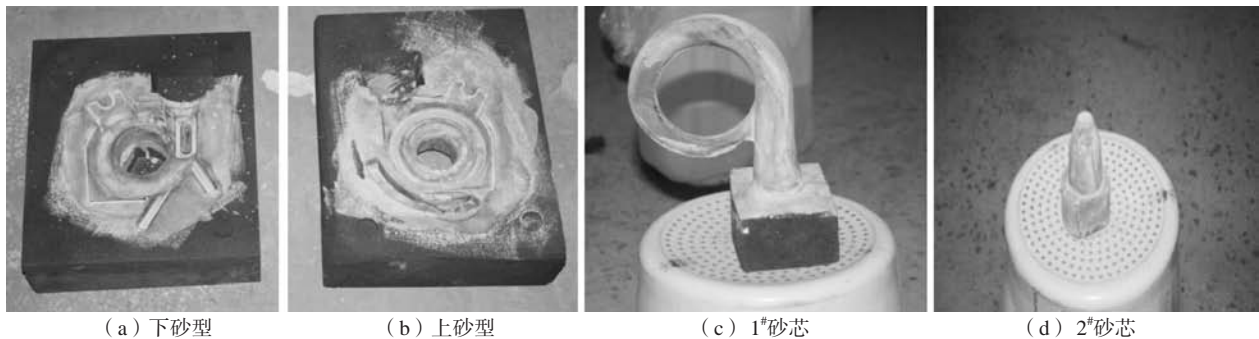


图11 刷好涂料的砂型和砂芯
Fig. 11 Prepared sand molds and cores after coating

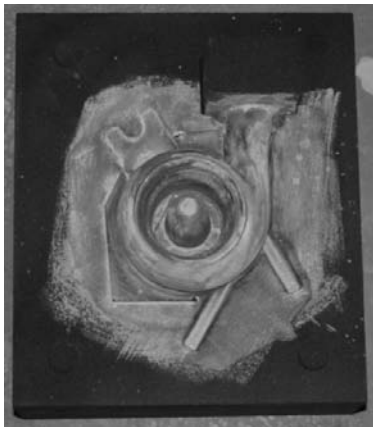


图12 装配好砂芯的下型
Fig. 12 Bottom sand mold assembled with sand cores

5.2 铝合金的熔炼浇注及铸件的后处理

接着进行合型，准备浇注。将所需重量的AlSi7Mg0.3（ZL101A）铸造合金锭放入到坩埚电阻炉中进行加热熔炼，设定熔炼温度为 $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，浇注温度为 $(730 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。采用铝合金专用除气除渣剂进行熔体处理，采用Al-5Ti-1B对铝合金熔体进行变质处理。

铸件冷却1 h后进行打箱和落砂处理，用工具将铸件分型面位置的飞边毛刺清理掉，最后获得的铸件（带铸造工艺）如图13所示。

对铸件进行了质量检验，尺寸符合BS6615/ISO 8062及工程标准E3-20的要求，可见，缺陷符合工程规范E4-05-006的要求，化学成分符合《铸造铝合金》国家标准规范中的相关质量要求。



图13 试生产的实际铸件（含铸造工艺部分）
Fig. 13 Actual casting for trial production (including casting process parts)

6 结论

(1) 针对小型压壳铸件的结构特点,进行了完整的铸造工艺设计,并利用数字化无模精密铸造成形技术进行了试生产,所获得的铸件符合图纸技术要求,为该压壳铸件采用重力铸造方法进行下一步中试及大规模生产奠定了工艺基础,同时也为其他压壳类铸件的铸造工艺设计提供了一定参考。

(2) 采用文中优化工艺生产的压壳铸件,其工艺出品率为69%。如果需要进一步提高工艺出品率,则需要采用金属型铸造或低压铸造等特种铸造方法。

(3) 数字化无模精密铸造成形技术具有砂型和砂芯加工精度高、可以进行曲面造型、无需制造模具、生产周期短等特点,特别适合于小批单件生产及铸件的铸造工艺开发和试制。

参考文献:

- [1] 缙鹏森,于苏杭.大型压壳铸件工艺方法的研究[J].金属加工(热加工),2017(19):59-61.
- [2] 向青春,张伟,毛杰,等.应用数字化无模铸造技术生产艺术铸件的探索与实践[J].铸造设备与工艺,2014(1):15-18.
- [3] CHEN Li, ZHANG Wei, WU Chenhong, et al. Application of digital pattern-less molding technology to produce art casting [J]. China Foundry, 2014, 11(6): 487-492.
- [4] 李新亚.铸造手册:铸造工艺卷(第3版)[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [5] 张士林,任颂赞.简明铝合金手册[M].上海:上海科学技术文献出版社,2000.
- [6] 李传杖.更新观念,进一步提高铝合金铸件的质量[C]//第十届中国铸造协会年会会刊.中国铸造协会,2012:16-21.
- [7] 马煜林,刘少华,纪良鑫,等.基于ProCAST吸阀壳体铸铝件铸造工艺设计[J].铸造,2021,70(1):94-98.
- [8] 李日.铸造工艺仿真ProCAST从入门到精通[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [9] 张令.砂型铸造过程中型芯与铸件界面换热系数的研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2019.
- [10] 梁维亚,李栋,刘轶,等.大型薄壁铝合金铸件的铸造工艺[J].铸造,2020,69(1):66-68.

Casting Process Design and Trial Production of a Shell Body Casting

MA Yu-qi¹, YU Wei-ye², LIU Rui-xiang¹, ZENG Wen-wen¹, SHI Shu-cao¹, WANG Cheng-yun¹, ZHANG Wei¹, XIANG Qing-chun¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, Liaoning, China;
2. Dalian Best Electric Motor Co., Ltd., Dalian 116033, Liaoning, China)

Abstract:

Shell body castings are widely used in the field of fluid engineering. In this paper, according to the structural characteristics of a shell body casting, the 3D model of the casting was first established with the UG software in accordance with its CAD drawing, then its casting process scheme was designed and optimized with the ProCAST numerical simulation software. After analyzing the filling process, solidification process and defect distribution of shrinkage cavities and porosities, the optimal casting process scheme was finally determined for the shell body casting. Next, with the resin bonded sand, the desired sand molds and sand cores were prepared by use of the digital patternless precision casting molding machine. After assembling the molds & cores, melting and pouring the ZL101A alloy, the trial production of the shell body casting was completed. The obtained casting fully met the technical requirements of the CAD drawing, which lays a technological foundation for the next step of pilot production of the shell body casting by the gravity casting method, and also provides a certain reference for the casting process design of other pressure shell body castings.

Key words:

shell body casting; aluminium alloy; casting process design; numerical simulation; trial production