

铝合金转向壳铸造工艺数值模拟及优化

李欣珂¹, 于鑫泓¹, 于金瑞¹, 陈宗民¹, 王彦启², 安钰坤¹, 赵而团¹

(1. 山东理工大学机械工程学院, 山东淄博 255049; 2. 宣城建永精密金属有限公司, 安徽宣城 242000)

摘要: 通过对铝合金转向壳结构和工艺特点分析, 结合产品产量需求, 决定选用砂型铸造工艺。使用铸造模拟软件对转向壳铸造充型及凝固过程进行了模拟, 根据模拟结果分析缺陷出现位置及原因。对原工艺方案进行了优化: 将中注式浇注系统改为带有立柱的缝隙式, 将冒口与缝隙式的立柱结合, 调整了冷铁厚度。对改进后的铸造工艺方案进行了数值模拟, 最终采用该方案生产出了合格铸件。

关键词: Anycasting模拟; 砂型铸造; 铝合金; 缝隙式浇注系统

铝合金铸件具有比强度高、铸件成形性好等优点, 因此在诸多领域均有广泛应用^[1-3]。其中2A12铝合金作为一种可以进行热处理强化的高强度硬铝合金, 是铝-镁-铜系中的典型硬铝合金, 其成分较为合理, 综合性能较好, 具有密度小、强度高、焊接性好等优点和良好的塑性成形能力及机械加工性能^[4]。但铝合金的收缩倾向大、热容量小、导热快、易吸气和氧化, 在铸造工艺设计时存在难点^[5-6]。本文对铝合金转向壳铸件铸造工艺进行设计, 并运用模拟仿真软件进行数值模拟, 根据对铸造缺陷位置的观察和分析对原始工艺方案进行优化, 克服工艺难点, 得到切实可行的铸造工艺方案。

1 铸件结构工艺性分析

转向壳是一款起到定位和保护作用的受力部件。铸件材质为2A12铝合金, 轮廓尺寸为196 mm × 155 mm × 124 mm, 质量为1.92 kg, 属于中小型铸件, 零件三维结构如图1a所示。铸件要求无缩孔、缩松、裂纹等铸造缺陷, 且不会发生变形。零件上存在大小不一的孔, 最大孔径为34 mm, 最小孔径为3 mm。对于零件大平面处直径较大的孔在铸造过程中本可以直接铸出, 但考虑两侧孔起到定位作用, 并有较高的精度要求, 故均采用机加工方式成形。对零件结构进行优化, 绘制毛坯图, 铸件毛坯质量为2.23 kg, 如图1b所示。

根据图2铸件壁厚分析可以看出, 铸件最大壁厚约为25 mm, 而零件壁厚最小处仅为3 mm, 壁厚差异较大。根据其所在位置和热节形状不同, 对其进行编号。1号热

作者简介:

李欣珂(2000-), 男, 本科, 主要研究方向为铸造工艺设计。电话: 15550343790, E-mail: L3117651823@163.com

通讯作者:

赵而团, 男, 副教授, 博士, 硕士生导师。E-mail: etzhao@sdut.edu.cn

中图分类号: TG292

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)12-1561-04

基金项目:

淄博市周村区校城融合发展项目(2020ZCXCZH03); 淄博市校城融合发展项目(2019ZBXC022)。

收稿日期:

2022-04-24 收到初稿,
2022-06-02 收到修订稿。

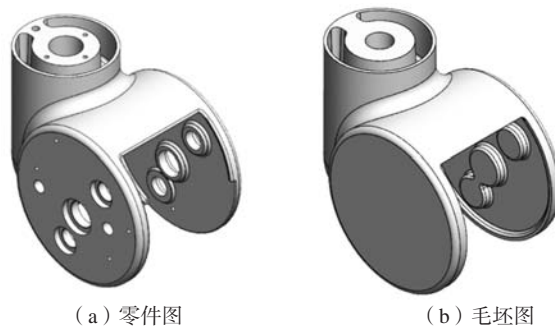


图1 铸件三维结构图

Fig. 1 3D diagram of the casting

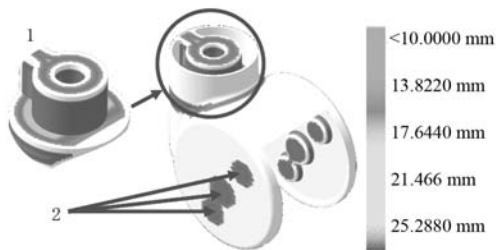


图2 铸件壁厚分析

Fig. 2 Wall thickness analysis of the casting

节厚度较大且形状复杂；而2号热节部位结构简单，并且厚度相对较小。因此，在实际冷却过程中，在1号热节处应符合顺序凝固原则。冒口和内浇道均应设置在1号热节部位，并要求冒口部位最后凝固，同时保证冒口能够对铸件厚大部位有充足的补缩作用。在2号热节处应符合同时凝固原则。

2 铸造工艺设计及浇注过程模拟

铸件生产性质为大批量生产，转向壳内部含有不规则型腔，并且壁厚差异较大。通过对其结构和工艺性进行分析，决定采用砂型重力铸造，脱箱造型。砂型铸造具有其他铸造方式不具备的优点：砂型透气性好，铸件气孔、针孔少；退让性好，热裂倾向低；铸件力学性能及内部质量高；成本较低^[11]。

根据上述分析，进行浇冒口系统的设计。采用中间注入式，封闭-开放式浇注系统。浇道采用具有搭接式结构的单向横浇道，这种结构带有缓冲槽，缓冲、稳流和撇渣效果好。由于铝合金收缩倾向大，密度较低自重较小，为保证热节部位的补缩，在图2中1号热节上方设置扁（明）冒口。2号热节存在于大平面处，大平面处由于面积较大且厚度较小，补缩难度大。因此在距离内浇道最远处设置溢流冒口，对其进行补缩，浇注系统设计方案如图3所示。

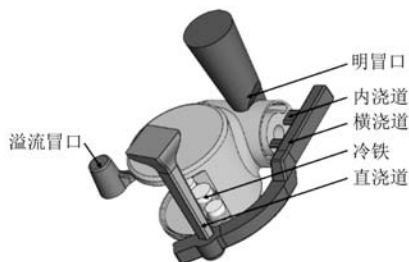


图3 浇注系统示意图

Fig. 3 The schematic of the gating system

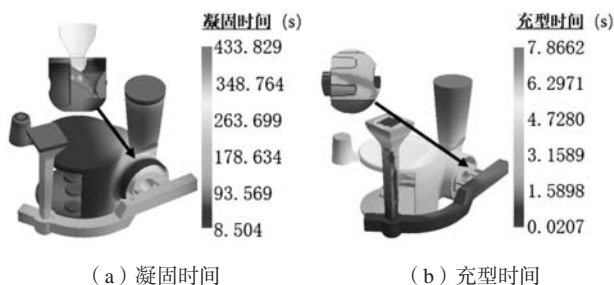
使用Anycasting 铸造模拟软件对上述方案进行模拟，图4为基于残余熔体模数法的概率缺陷模拟结果。由图可见，铸件在下部大平面处和1号环状热节下部存在缺陷。



图4 概率缺陷模拟结果

Fig. 4 Simulation result of the probabilistic defect

在下部大平面处3块相互接近的冷铁将平面分隔开，缺陷出现在远离浇口的一侧。由图5a凝固时间模拟结果可以看出，冷铁放置部位先于周围薄壁部位凝固。先凝固的厚壁部位阻断了平面远端的补缩通道，并从周围未凝固部位吸取部分熔体进行补缩，因而产生了缺陷。另一处缺陷为缩松缺陷，出现在1号热节下部，冒口正下方。在1号热节凝固时间截面图中可以看出，缺陷部位在同一高度水平上凝固时间最长，且上部补缩通道狭窄。造成此处凝固时间滞后的原因是内浇道液流的引入，如图5b所示，使得此处熔体温度略高于周围部位，因而产生缩松缺陷。同时液流冲刷型芯容易产生冲砂缺陷。同时液流进入型腔受到型壁的阻碍，造成液流流向混乱，容易造成卷气和夹渣缺陷。



(a) 凝固时间 (b) 充型时间

图5 充型和凝固模拟结果

Fig. 5 Filling and solidification simulation results

考虑到薄壁大平面水平放置，且壁厚较小，容易出现憋气或浇不足等缺陷。采用模拟软件对铸件型腔内的空气压力进行了模拟，模拟结果如图6所示。从模拟结果可以看出，在大平面上部存在高压区域，因此在该部位需要设置排气针来辅助排气，降低气压。



图6 空气压力模拟结果

Fig. 6 Simulation results of the gas pressure

3 工艺改进

通过对上述工艺方案模拟结果的分析,造成缺陷的主要原因有冒口位置不当,环状热节下部的补缩通道过长,造成补缩困难。内浇道选择位置不当,液流冲刷型芯并造成局部过热,产生缩松缺陷。下部大平面处冷铁厚度过大,使得冷铁部位先凝固,不符合局部同时凝固的原则。同时,上表面存在高压区阻碍充型。

基于上述分析,对原铸造工艺进行优化。将浇注系统改为带集渣冒口的缝隙式,使冒口直接对热节下部进行补缩,同时内浇道面积增大使液流上升平稳且不会对型芯有冲击作用。减小下部大平面处冷铁厚度,降低冷铁激冷的作用而使下部大平面同时凝固,消除缺陷。针对上表面高压区采取增设排气孔的措施,排气孔位置根据图6空气压力模拟结果进行设置,减少型腔内的空气压力,降低充型阻力。考虑到铸件上下两处大平面对形状有较高要求,因此添加支撑肋,对上下两个大平面起到定型、支撑的作用,防止其在凝固冷却过程中因受力不均而发生变形,同时还能防止热处理变形。如图7所示。

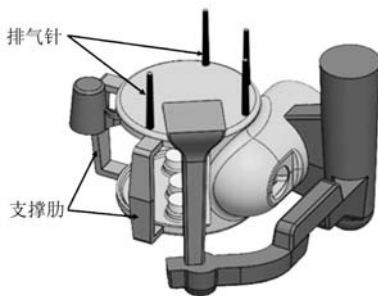
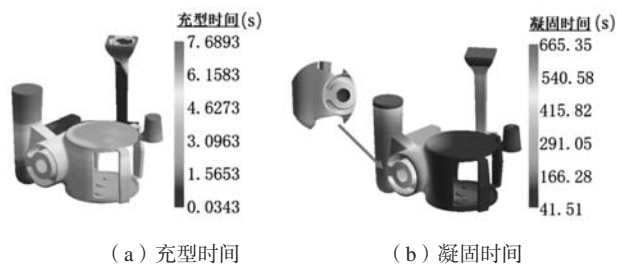


图7 工艺优化示意图

Fig. 7 The schematic of the improved scheme

对改进后的方案进行数值模拟。在充型时间图8a中可以看出,直浇道底部作为阻流截面使得改进前后的充型时间变化不大,但改进后内浇道面积更大,由此可以得出,改进后内浇道处液流流速降低,液流充型平稳,逐层上升。在图8b凝固时间中可以看出,在1



(a) 充型时间

(b) 凝固时间

图8 工艺优化后的充型和凝固模拟结果

Fig. 8 Filling and solidification simulation results after process optimization

号热节处凝固顺序为从右到左,从铸件到冒口,冒口处最后凝固,不存在局部凝固滞后的现象。而在下部大平面冷铁放置处,凝固时间与周围一致,实现同时凝固。

图9为优化方案后的概率缺陷参数模拟结果,由图中可以看出,缩孔、缩松等缺陷均转移到了冒口中,原本出现缺陷的2个部位都没有缺陷产生。缺陷只出现在支撑肋和冒口中,对铸件质量没有影响。



图9 工艺优化后的概率缺陷参数模拟结果

Fig. 9 Simulation results of the probabilistic defect parameter after process optimization

4 型芯和模板设计

考虑模具在分型方向上的开模性,需要设置型芯来形成部分型腔,为获得高强度砂芯,采用自硬呋喃树脂砂和HT150材质金属芯盒手工制芯。型芯的位置、形状及芯盒样式如图10所示。

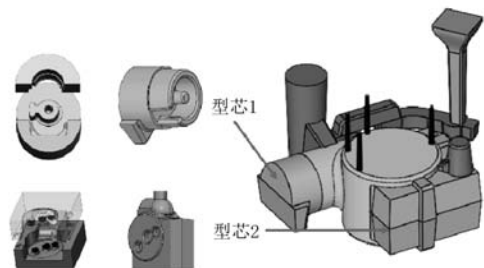


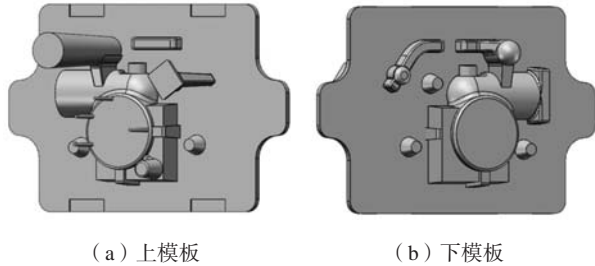
图10 型芯和浇注系统装配图

Fig. 10 Assembly drawing of the core and pouring system

模样是用来形成铸型的型腔,是砂型铸造中不可缺少的工艺装备,模样的质量关系着铸件的几何形状,尺寸精度和表面质量。结合该铸件结构特点及产品要求,决定采用双面模板。双面模板适合小型铸件成批大量生产的脱箱造型,生产效率更高。本次工艺中模样形状如图11所示。

5 生产验证

根据优化设计的铸造工艺方案进行了浇注试验,得到的铸件毛坯如图12所示。铸件表面光滑,铸件未出现缩孔、缩松缺陷,铸件大平面处未发生变形,产品满足客户要求,现已进行批量生产。



(a) 上模板

(b) 下模板

图11 模板

Fig. 11 Plates



图12 铸件实物图

Fig. 12 Steering shell casting

6 结论

(1) 在工艺设计初期, 铸造模拟软件可以起到缩短研发周期, 对设计方案查缺补漏, 降低缺陷概率, 改进铸造工艺的作用, 从而降低生产成本。

(2) 转向壳铸件壁厚差异较大, 设计难点主要为

内浇道和铸件厚壁部位的冒口冷铁的开设位置。带有立柱的缝隙直浇道对圆环状热节有较好的补缩作用, 冷铁的厚度应根据热节尺寸和热节周围凝固方式进行调节, 合理地放置冒口和冷铁会使补缩事半功倍。

参考文献:

- [1] 熊艳才, 刘伯操. 铸造铝合金现状及未来发展 [J]. 特种铸造及有色合金, 1998 (4): 3-7.
- [2] 陈宗民, 姜学波, 类成玲, 等. 特种铸造与先进铸造技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [3] 郑亚虹, 王自东. 复杂薄壁精密铝合金铸件铸造技术进展 [J]. 铸造, 2010, 59 (8): 796-799.
- [4] 吴大方, 宋昊, 高镇同, 等. 铝合金2A12在热冲击条件下的力学性能 [J]. 北京航空航天大学学报, 2007 (5): 531-534.
- [5] 陈国桢, 肖珂则, 姜不居. 铸件缺陷和对策手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [6] 邢小颖, 汤彬, 马运, 等. AnyCasting虚拟仿真在砂型铸造中的应用及缺陷分析 [J]. 铸造, 2019, 68 (5): 508-511.
- [7] 陈鹏飞, 米国发, 王建军, 等. ZL101齿轮箱体砂型铸造工艺优化 [J]. 铸造, 2018, 67 (12): 1090-1094.

Numerical Simulation and Optimization of Aluminum Alloy Steering Shell Casting Process

LI Xin-ke¹, YU Xin-hong¹, YU Jin-rui¹, CHEN Zong-min¹, WANG Yan-qi², AN Yu-kun¹, ZHAO Er-tuan¹
(1. Shandong University of Technology, School of Mechanical Engineering, Zibo 255049, Shandong, China; 2. Xuancheng Jianyong Precision Metal Co., Ltd., Xuancheng 242000, Anhui, China)

Abstract:

Based on the analysis of the structure, process characteristics and production requirements of the aluminum alloy steering shell, the sand casting process was selected. Casting simulation software was used to simulate the casting filling and solidification process of the steering shell. The location and cause of defects were analyzed according to the simulation results. The original process scheme was optimized: the middle injection gating system was changed to the slit gating system. The riser was combined with the slit gating system column. The thickness of chillers was adjusted. In order to verify the feasibility of the optimized process, the improved casting process was simulated again. Finally, qualified castings were produced by using the scheme.

Key words: Anycasting simulation; sand casting; aluminum alloy; slit gating system