DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.05.012

铝合金减速器前盖差压铸造工艺优化

王志鹏,苏小平,康正阳
(南京工业大学 机械与动力工程学院,江苏 南京 211816)

摘　要:研究以铝合金减速器前盖为对象,通过数值模拟技术,对其差压铸造过程进行了仿真分析,并根据对模拟结果中的凝固时间,缩松缩孔缺陷以及二次枝晶间距 SDAS 值的分析,对铸造工艺参数进行了改进设计,并添加了冷却系统,获得了合理的方案。结果表明,铸件实现顺序凝固,缺陷消除,力学性能增强。

关键词:铝合金;减速器前盖;差压铸造;数值模拟

中图分类号: TG249.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)05-0375-04

Optimization of Counter-pressure Casting process for Aluminum Alloy Reducer Front Cover

WANG Zhipeng, SU Xiaoping, KANG Zhengyang
(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract: Taking the front cover of aluminum reducer as the research object, the differential pressure casting process was simulated and analyzed by numerical simulation technology. According to the analysis of the solidification time, shrinkage porosity and cavity defects and the SDAS value of secondary dendrite spacing in the simulation results, the casting process parameters were improved and the cooling system was added, and a reasonable scheme was obtained. The results show that the casting solidifies sequentially, defects are eliminated and mechanical properties are enhanced.

Key words: aluminum alloy; reducer front case; differential pressure casting; numerical simulation

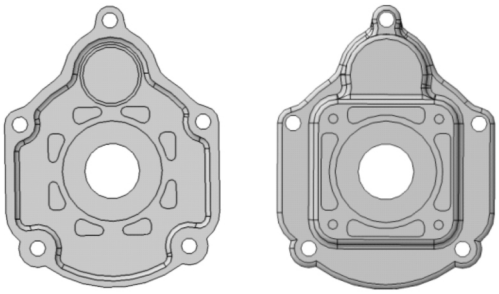
铝合金被广泛应用于减速器前盖等零件的制造,用以实现轻量化和节能减排[1-3]。采用 A356 铝合金取代 HT200 制造轮边减速器前盖,能够有效的实现轻量化[4]。而汽车轮边减速器前盖在减速器工作过程中承受着来自传动轴的较大交变力,对其力学性能有着较高的要求[5]。

本次研究拟采用数值模拟技术,对铝合金轮边减速器前盖的差压铸造过程进行了仿真分析,根据数值模拟的结果,对铸造工艺参数进行改进设计,并增加了冷却系统,用于达到消除铸件缺陷,提升铸件质量的目标。

1　初始工艺方案设计

1.1　模型及材料确定

根据差压铸造的工艺要求,利用 CATIA 环境建立铝合金轮边减速器前盖的三维模型如图 1。其外形尺寸约为 120 mm×90 mm×54 mm。同时完成对浇注系统的建模,由于零件较小,为提高生产效率,采用一模四件的布置,如图 2 所示。



(a)正面　　(b)背面

图 1　铝合金减速器壳体 3D 模拟模型
Fig.1　3D model of aluminum alloy Reducer Front Cover transmission

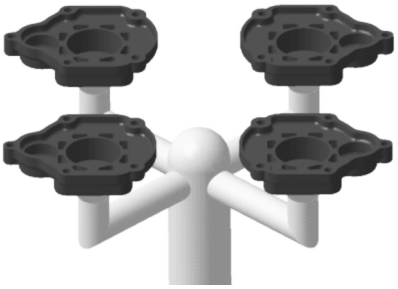


图 2　浇注系统模型
Fig.2　Model of gating system

减速器前盖所使用的材料为 A356 铝合金,A356 为铝-硅系铸造铝合金,与我国的 ZL101 相似,具有流动性好,无热裂倾向,线收缩小,气密性好

收稿日期:2021-03-10
基金项目:江苏省高校自然研究课题(19KJB460005)
作者简介:王志鹏(1996—),江苏盐城人,硕士生.研究方向:高强度铝合金成型工艺.电话:18752016663.
Email:201961107009@njtech.edu.cn

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

等良好的铸造性能，其主要成分见表 1[6]。所用模具材料为 H13 模具钢。

表1 A356铝合金主要化学成分 w(%)
Tab.1 The main chemical composition of A356 alloy

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
6.50~7.50	0.12	0.10	0.05	0.30~0.45	0.05	0.2	余量

1.2 工艺参数的确定

标准差压工艺曲线如图 3。

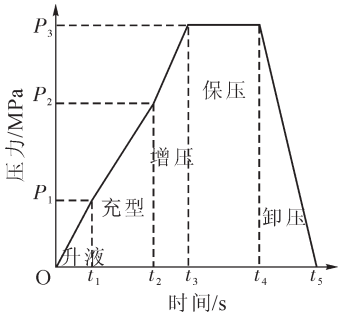


图 3 差压铸造工艺曲线
Fig.3 Process curve of differential pressure casting

初步的浇注工艺参数的确定，可根据经验公式[7]：

$$\Delta P_1=\frac{H_1\cdot r\cdot\mu}{13.6}\times 133.3$$

式中，ΔP_1 为升液压力，Pa；H_1 为液面到浇口的距离，mm；r 为合金液在某浇铸温度下的比重；μ 为阻力系数；在铝合金熔液取 700 ℃时，r 取 2.4，μ 取 1.27。

由经验公式设置最大充型压力为 8 kPa，保压压力为 10 kPa，其余各参数见表 2。

2 初始工艺计算及结果分析

由于差压铸造一模四件工艺中，4 个减速器前盖充型凝固条件基本一致，故仅以其中一个壳体为例，对其充型凝固结果进行分析。后续的分析也均是针对该前盖 。

表2 初始浇注工艺参数
Tab.2 The parameters of initial casting process

浇注温度/℃	模具预热温度/℃	升液时间/s	最大充型压力/kPa	充型时间/s	增压时间/s	保压压力/kPa	保压时间/s
700	150	3	8	2	2	10	30

2.1 充型过程分析

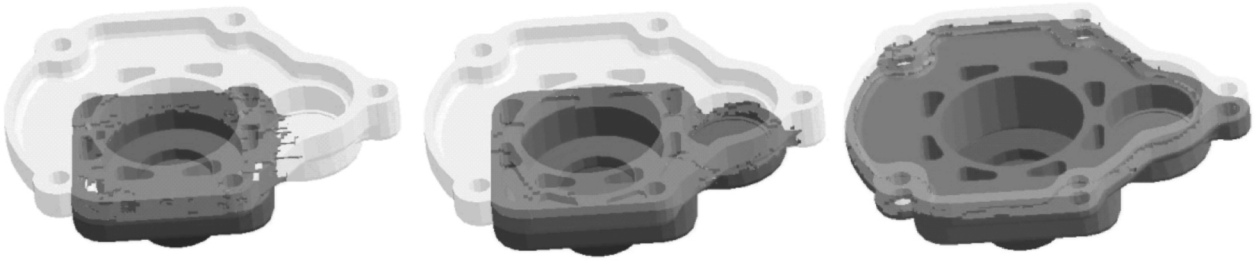
图 4 为初始工艺下的盖板充型压力场。由图中可以看出，初始方案下充型过程平稳，压力分布均匀。但由图 5 可以看出，在充型结束阶段，充型的截面发生突变，致使压力分布不均。且在充型完成后，实际的充型所需的加压差为 6.4 kPa，小于经验公式得出的 8 kPa。

2.2 凝固过程分析

图 6 为 t(时间)=13.486 s 时，前盖内部的温度场分布。可以看出在凝固过程中，其内部未能实现顺序凝固，在壁厚处出现了热节，因此初步判定该区域会产生缩松缩孔缺陷。

2.3 模拟结果分析

凝固时间是工艺周期的重要指标，凝固时间越短，生产效率越高。图 7 是初始工艺下的铸件凝固时间。可以看出，初始工艺下铸件在 28.21 s 已经完全凝固，时间远短于原始保压时间与冷却系统的开启时间。过长的保压时间与冷却时间不仅造成生产效率的降低，同时会造成浇注系统内的金属液凝固造



(a)充型初期　(b)充型中期　(c)充型末期

图 4 初始工艺下的充型压力场
Fig.4 Pressure field during filling for the initial casting process scheme

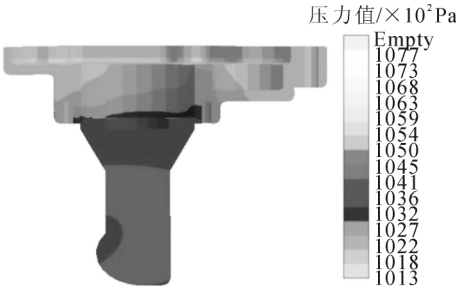


图 5 充型结束时的压力场
Fig.5 The pressure field in the end of the filling process

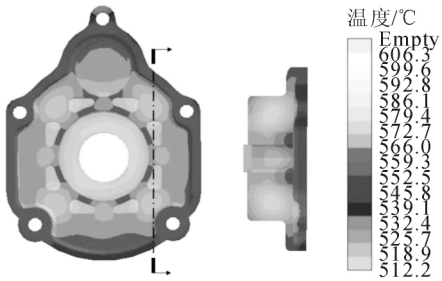


图 6 t=13.486 s 时的温度场
Fig.6 The temperature field when t=13.486 s

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

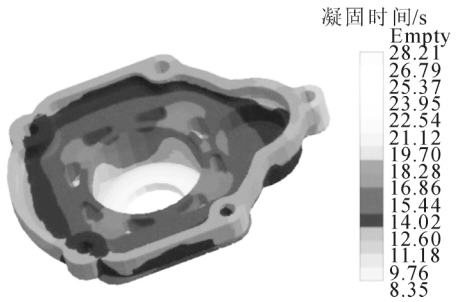


图 7 铸件凝固时间
Fig.7 Solidification time of casting

成堵塞，影响后续生产。

缩松缩孔缺陷是铝合金铸件主要的内部缺陷[8]。图 8 是初步工艺下铸件中存在的缩松缩孔的位置。结合铸件凝固时间图 6 可得，缺陷出现的位置基本与热节位置重合。

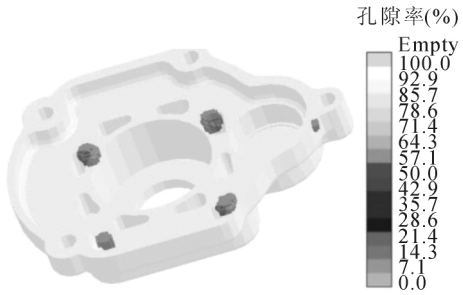


图 8 铸件缩松缩孔分布
Fig.8 Distribution of shrinkage cavity and porosity in casting

图 9 是铸件的二次枝晶臂间距，即 SDAS (Secondary dendrite arm spacing)分布图。SDAS 值对铸件力学性能有重要的影响，其值越小，铸件的力学性能越好[9-10]。因此，在后续的改进中，需控制 SDAS 值不变大，保证铸件的性能。

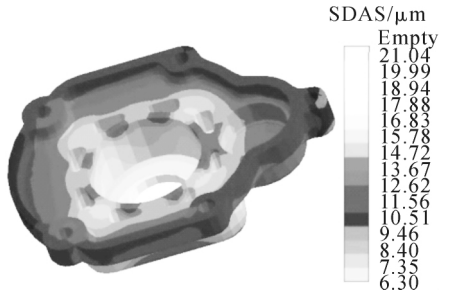


图 9 铸件二次枝晶臂间距
Fig.9 SDAS (Secondary dendrite arm spacing) in the casting

3 优化方案及模拟结果

3.1 改进方案

根据初步方案获得的数据，对铸件的浇注工艺参数进行调整。为防止充型末期出现压力分布不均匀的情况，将充型时间延长为 3 s，同时为不降低效率，将对结果影响不大的升液时间缩短为 2 s。同时，根据充型结束时的压力场，将最大充型压力下调为 6.4 kPa，保压压力相应调整为 8.5 kPa。改进后的浇注工艺参数见表 3。

表3 改进后浇注工艺参数
Tab.3 The parameters of improved casting process

浇注温度/℃	模具预热温度/℃	升液时间/s	最大充型压力/kPa	充型时间/s	增压时间/s	保压压力/kPa	保压时间/s
700	150	2	6.4	3	2	8.5	30

同时，根据铸件缺陷分布，设计冷却系统。冷却系统如图 10 所示，冷却管路位置根据初步方案中的缺陷位置确定，1 号、6 号、11 号、16 号管路长度为 42 mm，其余管路长度 30 mm，冷却液温度 20 ℃，流量 0.5 ，其具体参数见表 4。

3.2 改进后的模拟结果

图 11 为改进之后的充型结束时的压力场。可以看出，改进工艺下铸件充型结束时压力逐层分布，未再出现压力分布不均的情况。

图 12 为方案改进后铸件的凝固时间。可以看出，在工艺与冷却优化后，铸件的凝固时间由原先的 28.21 s 进一步缩短为 23.31 s，较初始方案提升了 17.37%，节省了生产时间，提高了生产效率。

由图 13 可知，改进后的方法已经悉数消除了原

表4 改进后的冷却工艺参数
Tab.4 Parameters of improved process scheme

管路编号	管路坐标/(x,y)	开启时间/s	结束时间/s	管路编号	管路坐标/(x,y)	开启时间/s	结束时间/s
1	(-125,80)	5	8	11	(-125,-80)	5	8
2	(-85,115)	8	17	12	(-85,-55)	8	17
3	(-65,115)	8	17	13	(-65,-55)	8	17
4	(-85,55)	8	17	14	(-85,-115)	8	17
5	(-65,55)	8	17	15	(-65,-115)	8	17
6	(125,80)	5	8	16	(125,-80)	5	8
7	(85,115)	8	17	17	(85,-55)	8	17
8	(65,115)	8	17	18	(65,-55)	8	17
9	(85,55)	8	17	19	(85,-115)	8	17
10	(65,55)	8	17	20	(65,-115)	8	17

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

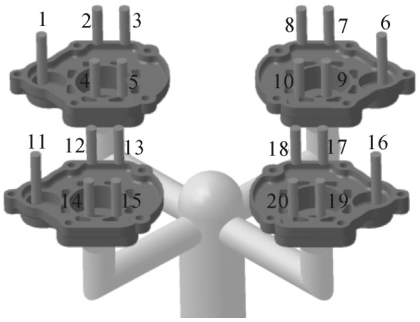


图 10 冷却系统
Fig.10 Cooling system

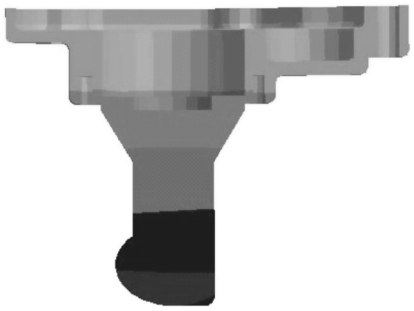


图 11 改进后充型结束时的压力场
Fig.11 Pressure field in the end of filling for the improved process scheme

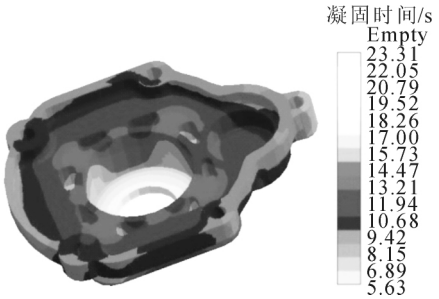


图 12 改进方案下铸件凝固时间
Fig.12 Solidification time for the improved process scheme

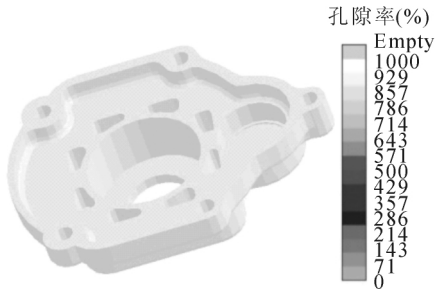


图 13 改进方案下缩松缩孔分布
Fig.13 Shrinkage cavity and porosity distribution for the improved process scheme

有方案中所产生的铸件缩松缩孔缺陷，证实了冷却方案不仅缩短了生产周期，还实现了对铸件中热节点的消除，使铸件形成了良好的温度场，实现了顺序凝固，提升了铸件质量。

同时，如图 14 所示，铸件的 SDAS 值最大值由原先的 21.04 下降为 19.33，说明在消除缺陷的前提下，铸件的力学性能并未被削弱，且得到了一定的加强。

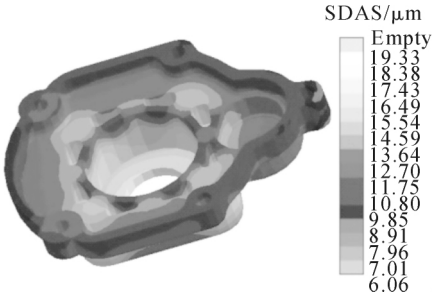


图 14 改进方案下二次枝晶间距
Fig.14 Improved SDAS distribution

4 结论

本文研究铝合金减速器前盖差压铸造过程的数值模拟，通过对初次模拟结果中的凝固时间、缩松缩孔缺陷及 SDAS 值的分析，提出了新的工艺方案，得到以下结果：

(1)铸件凝固时间由 28.21 s下降至 23.31 s，缩短了 17.37%，生产效率得到提升。

(2)铸件内的缩松缩孔缺陷基本消除，铸件质量得到提升。

(3)铸件的二次枝晶间距由21.04 下降为19.33，减小 8.13%，铸件力学性能得到提升。

该工艺方案使得铸件实现顺序凝固，消除了铸件的缩孔缩松缺陷，提升了铸件力学性能。

参考文献：

[1] 史东杰，王连波，刘对宾，等. 汽车底盘轻量化材料和工艺[J]. 热加工工艺, 2016, 45(3): 16-18.
[2] 马晓坤，王瑞，侯建峰，等. 基于汽车轻量化的碳纤维复合材料应用分析[J]. 化工新型材料, 2020, 48(11): 223-226.
[3] 陈佳佳. 面向全生命周期的变速器关重件节能减排评估与应用研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2020.
[4] 张燕. 基于 ANSYS 的轮边减速器壳体有限元分析与改进[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2019, 22(01): 32-37.
[5] 肖玮. 某汽车减速器壳体加工工艺及关键夹具仿真分析 [D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
[6] 王乐. 深冷处理对汽车轮毂用 A356 铝合金组织与力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2020, 49(22): 126-128.
[7] 陈川川. 铝合金转向节差压铸造数值模拟与工艺优化研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2019.
[8] 王龙生，孔令东，杨同，等. Al-5Ti-1B 细化剂对铝合金压铸件局部收缩的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(11): 1253-1255.
[9] 武永红，李永堂，贾璐，等. 冷却速度对 42CrMo 环坯铸造二次枝晶臂间距及裂纹缺陷的影响 [J]. 机械工程学报, 2014, 50(16): 104-111.
[10] 车家宝，廖敦明，孙飞，等. 铝合金铸件凝固过程二次枝晶臂间距模拟计算[J]. 铸造，2020，69(4): 382-387.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net