● 工艺技术 Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.10.004

涡轮增压器壳体铸造工艺设计及优化

段钧瀚,李一琛,邬 刚,姚可忆,朱中稳,刘兰俊
(合肥工业大学 材料科学与工程学院,安徽 宣城 242000)

摘 要:为提高涡轮增压器壳体生产效率及品质,通过添加冒口及补贴设计了1箱1件的铸造工艺,并在此基础上设计了1箱4件的铸造工艺。结果表明,最终的1箱4件铸造工艺基本消除铸件缩松,同时实现了铸件最大体收缩的孔隙率小于0.58%,并且成功地把残余缩松控制在非重要面内。对于壳体等复杂铝合金薄壁小件,通过合理的设置补贴及调整,冒口可以有效消除铸件的缩松缺陷。

关键词:涡轮增压器;壳体;铸造工艺;数值模拟

中图分类号:TG292 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)10-0852-04

Design and Optimization of Casting Process for Turbocharger Housing

DUAN Junhan, LI Yichen, WU Gang, YAO Keyi, ZHU Zhongwen, LIU Lanjun
(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Xuancheng 242000, China)

Abstract: In order to improve the production efficiency and quality of turbocharger housing, the casting process of 1 box and 1 piece was designed by adding risers and subsidies, and the casting process of 1 box and 4 pieces was designed on this basis. The results show that the final casting process of 1 box 4 pieces basically eliminates the shrinkage porosity of the castings, achieves the maximum shrinkage porosity of the castings less than 0.58%, and successfully controls the residual shrinkage porosity in the non-important plane. For the complex thin-walled aluminum alloy parts such as turbocharger housing, the rising can effectively eliminate the shrinkage porosity defect by reasonable setting subsidy and adjustment.

Key words: turbocharger; turbocharger housing; casting process; numerical simulation

涡轮增压器的壳体工作温度在150~250 ℃,工作中需要承载高压、高速流体,壳体铸件通常具有一定的强度来承载压力,常采用铝合金制作。内腔应保证无飞边、毛刺、光滑致密,曲面过渡自然,不允许存在表面缺陷。浇注过程中,应保证铸件型腔充型平稳,无明显的飞溅和冲砂现象。但由于壳体壁厚不均匀,形状复杂,充型过程中易产生冷隔、气孔和夹杂,同时合金铸造收缩率大,凝固过程很容易形成收缩缺陷,铸件生产存在一定难度。

1 技术要求

某型号壳体铸件尺寸为188.0 mm×124.5 mm×63.0mm,最大壁厚约为20.0 mm,最小壁厚为4.0 mm;材质为AlSi7Mg0.3,化学成分如表1。去除加工余量后,质量为0.91 kg。壳体铸件三维结构如图1所示。壳体内腔表面粗糙度等级达到Ra3.0,垂直法兰与涡室的交界部位、安放铭牌的凸台、出气法兰成为热节,易产生缩松、缩孔缺陷。

图1 壳体铸件三维结构
Fig.1 3-dimensional structure of turbocharger housing

2 一箱单件的工艺设计及优化

铸件采用砂型重力铸造,冷却方式为空冷。分型面为水平曲面分型,浇注位置及浇注系统的设置采用从涡室外围引入的中注式浇注系统,如图2。

2.1 工艺设计及仿真结果

2.1.1 工艺设计

本方案中合金液从靠近壳体出气端的外侧引入;内浇道靠近周围出气法兰、铭牌凸台等厚大部分,有利于顺序凝固。由于铸件内部有变断面的、螺

收稿日期:2021-05-14
作者简介:段钧瀚(2000—),河南郑州人,本科生.研究方向:铸造成型工艺设计及模拟分析.电话:18119925968,Email:djh@mail.hfut.edu.cn
通讯作者:刘兰俊(1964—),安徽合肥人,副教授.研究方向:铸造成型工艺设计及模拟分析.电话:18919662359,Email:liulanjun@hfut.edu.cn

表1 铸件化学成分表 w(%)
Tab.1 Chemical composition of castings

元素含量							其他杂质	
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	单独	其他
6.50~7.50	≤0.19	≤0.05	≤0.10	0.30~0.45	≤0.07	0.08~0.25	≤0.03	0.10

图 2 浇注位置及浇注系统设计示意图
Fig.2 Schematic diagram of pouring location and pouring system design

旋状的复杂空腔，对此空腔设计了 1# 砂芯、设计 2# 芯形成中间部位的中空。为确保铸件质量和涡室的精度，故水平放置的 1# 砂芯不采用组芯方式。各砂芯形状及安放位置如图 3。由于涡室内空间狭窄、砂芯尺寸较小，故不使用芯骨。因此，为确保 1# 砂芯的稳定放置，设计了大尺寸的水平定位芯头，从而使整个重心移项向芯及厚大部位，防止砂芯细薄截面承受过大的弯矩，同时也防止砂芯绕水平轴旋转及沿水平方向移动。

图 3 砂芯形状、安放位置
Fig.3 Shape and placement of sand core

2.1.2 仿真结果分析及优化

选用半封闭中注式浇注系统，经计算最小阻流面积后，浇道比选择。采用 Inventor 与 Unigraphics NX 三维建模软件进行三维实体的绘制，导入 ProCAST 进行网格划分，方案一共划分三维网格 2 284 587 个，仿真结果如图 4 所示。

本方案中，缩孔缩松缺陷主要集中在垂直法兰与涡室的交界部位以及垂直法兰顶部所在的热节处，考虑到铸件整体尺寸较小，形状复杂，且热节集中于铸件中上部，不便于设置冷铁，因此，优先考虑使用冒口解决铸件内部缩松，优化后的仿真结果如图 5。

从凝固时间来看，铸件基本形成自下而上的顺序凝固，有利于顶部冒口补缩。对比优化前后的缺陷，原处于壳体垂直法兰顶部的缩孔缺陷现集中于顶部冒口内部，铸件上部缩松基本消除，但铸件内中部仍有残留缩松，在 99%铸件合格率的情况下，最大孔隙率为 3.79%，中部热节附近的内壁上有缩孔缩松的危险。此时冒口颈的尺寸已经和顶部法兰外侧相近，再加大、加高冒口尺寸作用不大，需进行二次优化。

壳体中上部厚大部分被外围薄壁隔开，安放侧冒口难以保证适当的有效补缩距离，且要考虑铸件要有较高的工艺出品率；只有在铸件上垂直壁部分设置补贴余量，才能将热节上移至冒口，从而保证冒口有效补缩。由于铸件中部热节与垂直法兰厚大部位壁厚相近，设置垂直补贴也十分方便。结合上述分析，对工艺做出优化：在铸件顶部法兰的外侧添加垂

(a)充型时间　　(b)凝固时间　　(c)收缩缺陷

图 4 铸造工艺仿真结果
Fig.4 Simulation result of casting process

(a)充型时间　(b)凝固时间　(c)收缩缺陷

图 5 铸造工艺初步优化仿真结果

Fig.5 Simulation result of initial optimized casting process

直补贴，使得原在铸件中部的热节上移，保持顶部冒口补缩通道的畅通，从而消除残存缩松。二次优化的结果见图 6。

二次优化后，在 99%铸件合格率的情况下，最大孔隙率从改进前的 3.79%收缩率降至 1.59%，且缺陷处在表面加工余量内，对铸件的质量影响不大。说明在顶部法兰增加垂直补贴，能有效保障顶部冒口补缩通道畅通，有利于改善铸件的凝固顺序，增强顶部明冒口的补缩效果，从而得到致密的组织。

3 1 箱 4 件浇注系统设计

壳体铸件较小，为提高生产效率考虑采用 4 件的工艺。1 箱 4 件的浇注系统由 1 个直浇道、1 个浇口窝、4 个横浇道、4 个内浇道组成，俯视图下整体呈现“卍”字形。对于每个铸件，金属液的引入位置，冒口及补贴位置均和方案一相同，通过适当调整，与原有浇道比相近，按照进行设计。

3.1 1 箱 4 件仿真结果分析

1 箱 4 件仿真结果如图 7。

(a)充型时间　(b)凝固时间　(c)收缩缺陷

图 6 铸造工艺二次优化仿真结果

Fig.6 Simulation result of secondary optimized casting process

(a)充型时间　(b)凝固时间　(c)收缩缺陷

图 7 1 箱 4 件仿真结果

Fig.7 Simulation results of four pieces in one flask

图 7(c)为最大体收缩孔隙率分布图，4 个铸件中，3 个铸件均没有缩松缺陷，唯一存在微小缩松的铸件，其缩松也分布在非重要面或加工面处：铭牌凹坑表面、铸件进气口内表面与法兰盘最外侧表面。第一、二处缩松属于壳体使用过程中的非重要面，最后一处分布在机械加工余量内，经机加工后方可去除，因此，3 处的缩松分布对铸件自身质量影响较小。在 99%铸件合格率的情况下，将孔隙率分布图显示的最低值降至 0.58%，可以看到铸件内部完全没有缩松缺陷，因此铸件最大体收缩孔隙率控制在 0.58%以下。

综上所述，通过合理的铸造工艺设计，最终实现了铸件最大体收缩孔隙率＜0.58%，并且成功把缩松控制在非重要面内，符合实际生产要求，工艺出品率为 65.13%。

4　结论

(1)在对涡轮增压器壳体铸件结构分析的基础上，确定了浇注位置、分型面，并进行了砂芯的设计；借助 ProCAST 软件对壳体铸件一箱单件和 1 箱 4 件的铸造工艺进行模拟及优化。

(2)对于类似本文复杂铝合金薄壁小件，通过合理的设置补贴以及调整冒口能有效地消除铸件的缺陷。

参考文献：

[1] 余欢. 铸造工艺学[M]. 机械工业出版社, 2019.

[2] 猴鹏森，于苏杭. 大型蜗壳铸件工艺方法的研究[J]. 金属加工(热加工), 2017(19):59-61.

[3] 梅益，杨幸雨，何佳容. 大型水轮机蜗壳砂型铸造工艺设计及优化[J]. 铸造技术，2019，40(1):54-57.

[4] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册：铸造工艺(第 5 卷)(第 3 版)[M]. 北京：机械工业出版社, 2011.

[5] 陈善明，王匀，朱凯，等. AlSi7Mg 涡轮增压器壳体铸造缺陷预测及工艺优化[J]. 热加工工艺, 2016, 45(3):71-73.

[6] 颜丹丹，陈善明，高文嫱. AlSi7Mg 汽车涡轮增压器壳体重力铸造数值分析与缺陷预测[J]. 铸造技术, 2018, 39(10):2289-2291.

[7] 顾瑞莹，顾绳初，杨弋涛. 基于 ADSTEFAN 模拟软件的壳体件铸造工艺优化[J]. 现代铸铁, 2018, 38(6):46-51.

[8] 李玲娇. 涡轮增压器热铸成型关键技术研究 [D]. 无锡：江南大学，2016.

[9] 郑浩勇. 复杂涡轮壳体零件金属型铸造模具设计[J]. 模具技术，2016(4):21-25.

《铸造技术》杂志优秀企业、先进人物专访通告

《铸造技术》杂志开展专访活动，旨在通过专访这一内涵深邃、读者喜闻乐见、欣赏韵味独特的交流方式，深度挖掘铸造界人文财富，倾心打造行业精深资讯，进而从独有的精神与文化之角度施力，推动中国铸造业的科学振兴和健康发展。

《铸造技术》基于“榜样的力量是无穷的”以及“益言可以兴邦”的基本理念和初衷，《铸造技术》杂志社记者与业界企业家、专家学者、工程技术人员等先进人物近距离接触、多层面无障碍恳谈，从而接地气地见识与领略中国铸造业界深邃浩瀚的人文资源、鲜活生动的真人与实事，在第一时间得到启迪与感悟，进而把这发自心灵的收获通过专访报道奉献给读者朋友。

《铸造技术》专访笃信“唯有真情可以感人”。能感动人的专访报道，必然是被访者真实生活的经历、体验和独特感受，高尚人格的彰显。专访报道中的所有感人之处，无不源于被访者独有的生活经历加上独到的见解。不可复制的人生阅历之润养、对生活的挚爱、对事业的全身心投入，是每一位被访者能够超越现实与自我而永葆充沛生命力的秘诀。从自己挚爱的事业那里领悟人生的真谛，激发爱与美相交融的情感。被这真实的情感所感染，使人情不自禁地用看似清淡的笔墨，仰仗倾情产出令人心颤的专访报道。

《铸造技术》专访对“说理”情有独钟。信奉“唯有讲理可以服人”。因“至”即无限趋近高端，故“至理”系高度符合科学规律的道理。“科学”乃说理的学问，科学是迄今全人类生产及社会实践的顶级智慧结晶，科学是全人类的共同财富，科学是人类从必然王国走向自由王国的桥梁。唯科学之理能使人们正确认识世间万物、尤其包括认识者自己。《铸造技术》专访已延续多年，读者不难发现，所有被访者的感人之处无不根源于其自觉或不自觉地遵循了科学的思维与行为的准绳。

《铸造技术》专访所追求的是，以优秀传统文化底蕴为基石，以高尚道德操守与精神境界为标杆，倾力打造铸造专访的精到内涵和独特风格，倾心为读者朋友打造理性思考的空间，竭力实现被访者—读者的理性与情感的惊人共鸣。