DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.11.012

高镍奥氏体球墨铸铁涡壳铸造工艺优化

张同先
(科华控股股份有限公司,江苏 常州 213000)

摘　要:高镍奥氏体球墨铸铁涡壳铸件竖直摆放浇注时,铸件凝固补缩能力差、出品率低,铸件管壁易形成气孔缺陷。结合铸件缺陷特征和分布情况,通过调整铸件浇注位置并结合 Magma 软件,分析不同浇注位置对铸件凝固过程的影响,并根据顺序凝固理论判定其工艺可行性,优化了铸造工艺设计方案。结果表明,该方案解决了高镍涡轮壳铸件管壁气孔缺陷,并大幅度提高了铸件的工艺出品率和成品率,经济效益显著。

关键词:涡轮壳;高镍奥氏体球墨铸铁件;浇注系统;数值模拟

中图分类号:TG243　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)11-1054-03

Optimization of the Casting Process for Turbine Housing of High-Ni Austenitic Ductile Iron

ZHANG Tongxian
(Kehua Holdings Co., Ltd., Changzhou 213000, China)

Abstract: When the high nickel austenitic ductile iron turbine housing was pouring vertically, the solidification and shrinkage capacity of the castings were poor and the yield was low, and the porosity defects on the tube wall of the casting was easy to form. In combination with casting defects characteristics and distribution, the Magma software was used to adjust casting location and analyze the influence of different casting locations on casting solidification process. According to the theory of sequential solidification, the feasibility of the process was determined and the casting process design scheme was optimized. The results show that the scheme solves the porosity defects of high nickel turbine shell castings, and improves the process yield and yield of castings greatly, with remarkable economic benefits.

Key words: turbine housing; high nickel austenitic ductile iron casting; gating system; numerical simulation

在日益加剧的环保和节能双重压力之下,涡轮增压器在汽车发动机上的使用越来越普及。涡壳是汽车涡轮增压器中的重要部件,在使用过程中,涡壳直接承接从汽车发动机中排出的高温尾气,因此对涡壳材质的耐热耐蚀抗蠕变等要求特别严格[1]。汽车用涡壳结构设计复杂,铸件壁厚急剧过渡,通常相邻的厚大部位与管壁部位的厚度比值达到5~6,涡流道采用三维流线结构使壳体外形不规则,它不仅要求铸件流道的三维曲面尺寸与设计剖面的流道曲线完全吻合,且表面粗糙度不劣于12.5 μm,铸件不允许有缩孔、缩松、气孔、夹杂、冷隔等缺陷[2]。

目前涡壳使用的铸铁材料中,能够承受使用温度最高的为高镍奥氏体球墨铸铁,工作温度可以达到 900~950 ℃[3]。高镍球铁含镍量高,浇注过程铁液粘度高,流动性差,且线收缩和体收缩倾向均大于普通球铁;当浇注温度过低时,涡壳易产生浇不足、冷隔和黑渣等缺陷,浇注温度过高又容易产生缩孔、缩松等缺陷[4,5]。因此,对高镍材质涡壳的铸造工艺设计就提出了很高的要求,在产品工艺设计过程中借助MAGMA 工艺模拟进行优化是一种有效且必要的手段。

1　涡壳铸件的结构和技术要求

1.1　材质要求及结构特点

高镍产品的材质牌号为 D5S,其化学成分见表1。

高镍涡壳铸件重为 4.2 kg,外观轮廓尺寸 195 mm×130 mm×110 mm,铸件主要工作区域壁厚 4.5 mm,最大壁厚 20 mm,铸件结构复杂,流道呈三维曲面流线结构,铸件不允许有任何铸造缺陷,要经过 X-RAY 探伤检测,气压试验要求在 0.5 MPa 压力下持压 2 min 不得有泄漏等现象。

1.2　工艺特点

(1)涡壳结构复杂,铸造分型设计具有一定的复杂性,需采用多单元曲面分型,铸件由 6 个砂芯成型,外壳与砂芯、砂芯与砂芯间配合的精准度要

收稿日期:2020-09-09

作者简介:张同先(1964-),湖北武汉人,铸造工程师.主要从事铸造工艺及先进铸造装备的研究与应用方面的工作.电话:13961203656,E-mail:570619090@qq.com

表1 D5S材质化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of D5S

成分 C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mg
含量 1.8~2.0	4.8~5.3	0.5~0.7	≤0.04	0.080~0.013	34~35	1.5~1.8	0.065~0.090

求高。

(2)涡壳的内部受热关键区域内部不能有任何缩松、渣孔缺陷，加工装配面不能有超过 0.2 mm 的缺陷存在，F 圆与流道形成的舌尖位置反应层厚度不能超过 0.5 mm，否则在使用过程中容易形成裂纹缺陷。

(3)高镍涡壳为奥氏体球墨铸铁材质，液相线温度高，流动性差，铁液粘度高，收缩量大，铸件易产生缩孔缩松和气孔等缺陷。铁液在熔炼过程中吸气倾向大，浇铸后容易在铸件表面形成针孔缺陷。

(4)内腔砂芯被铁液包覆，排气条件差，容易在铸件最高点或局部最高点形成气孔缺陷。

2 优化设计的分析与探讨

2.1 原设计方案分析

原始工艺设计采用半封闭式浇注工艺，浇注系统比例为：1:0.9:1.3。采用两个 50 mm×50 mm×22 mm 20ppi 的过滤片，过滤片平放，过滤片前后流路分别置于两个半箱，如图 1。虽然起到了很好的滤渣效果，但是在过滤片后方有铁液上下型腔的翻转。高镍铁液因为合金含量高，在这个过程中极易形成氧化渣，对于高镍材质的流路设计，在过滤片之后一般尽量避免上下型腔的翻转，保持铁液的平稳流动，减小二次渣的形成。铸件采用立置摆放，进气法兰朝上，在中间壳装配法兰、进气法兰、出气法兰上分别放置一个冒口，用来补缩法兰位置和铸件舌部位置。设计上进气法兰的冒口处于铸件的最高点，在补缩的同时起到了很好的排气溢渣作用，有利于减少铸件加工面出现气孔和氧化渣缺陷，但冒口设计过大，影响铸件的出品率；出气法兰位置立放，在局部区域形成重力补缩，侧面的冒口为了补缩整个法兰位置，冒口设计需要高出铸件 30 mm，这种摆放方式无疑加大了对冒口体积的需求，降低了整体出品率。同时铸件立放后在流道区域形成了铸件次高点，充型后温度较低，凝固过程不利于气体排出，容易在次高点位置产生气孔 /气隔缺陷。



图 1 原浇注系统 3D
Fig.1 Original 3D gating system

2.2 优化设计方案分析

根据涡壳形状分析采用立放浇注工艺不利于冒口的补缩，为解决铸件内部的缩松需要牺牲出品率，造成成本上的浪费。并且容易形成局部次高点，铸件容易产生气孔 / 气隔缺陷。优化工艺将铸件平放，采用开放式浇注系统，流路比例：1:1.1:2.2。将过滤片立放，流路全部置于上箱，减少铁液充型过程中的上下翻卷，避免二次渣的形成。在充型远端区域的管壁位置增加一道辅助内浇道，用来保证远端区域的温度，避免在管壁区域形成气孔 / 气隔缺陷如图 2。



图 2 铸件次高点附近气孔缺陷
Fig.2 Blowhole defects around second high location of turbine housing

取消进气法兰位置冒口，使用冷铁代替。中间壳装配法兰冒口缩小，正对舌部区域的热节位置，用于保证铸件舌部关键区域不出现缩松缺陷。出气法兰冒口置于侧面，两个铸件共用一个冒口，工艺出品率由 30%提高到 45%。

2.3 优化设计方案铸件质量分析

对优化设计方案进行 CAE 模拟：充型过程线速度低于 50cm/s，冲砂风险低；铸件从管壁位置开始凝固，最后凝固位置位于冒口内，凝固过程没有形成孤立液相区，形成了顺序凝固的状态，冒口补缩效果良好，舌部区域缩松消除，进气法兰取消冒口后未出现缩松如图 4。

实际浇铸注进行切断验证，铸件表面质量良好，原工艺次高点位置气孔缺陷消失，舌部位置缩松得到解决，如图 5，图 6。

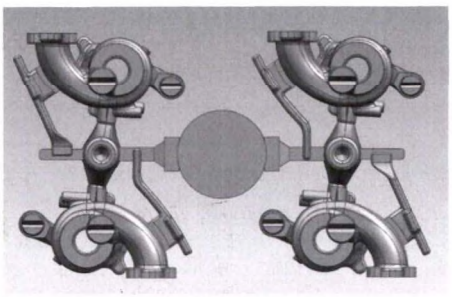
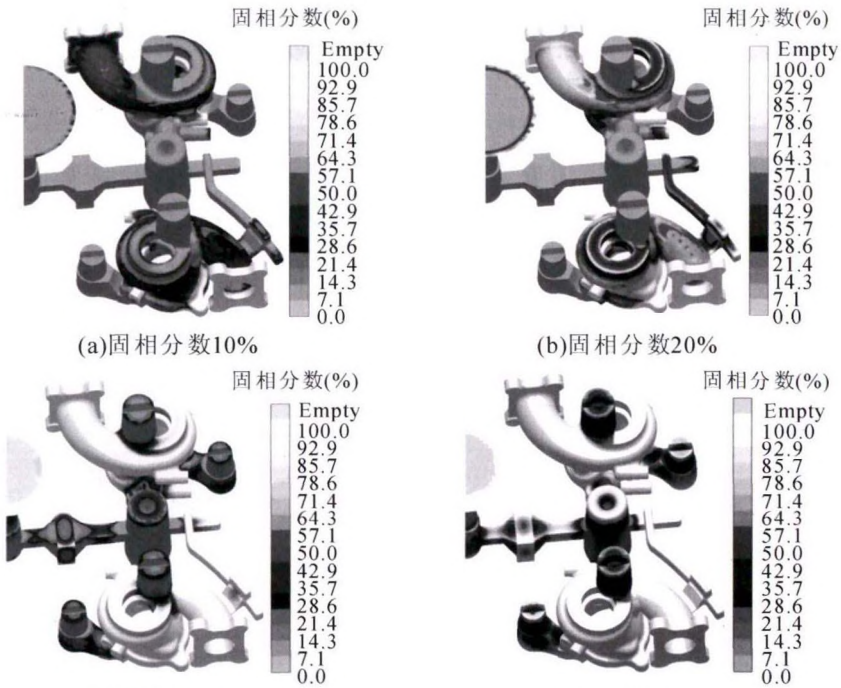


图 3 优化工艺方案
Fig.3 Optimized casting process

3 结论

(1)通过对原设计方案的缺陷类型和工艺分析，铸件采用立放工艺不利于铸件补缩，产品工艺出品率较低，且在管壁位置形成次高点，造成气孔缺陷。

(2)优化工艺铸件横放，流路全部置于上箱，减少过滤片之后铁液的上下翻卷，修改冒口放置位置，有效的提高冒口补缩能力，减小冒口体积，出品率从30%提高到45%。



(a)固相分数10%　(b)固相分数20%

(c)固相分数40%　(d)固相分数60%

图 4 新工艺模拟结果
Fig.4 Simulation results of new casting processing

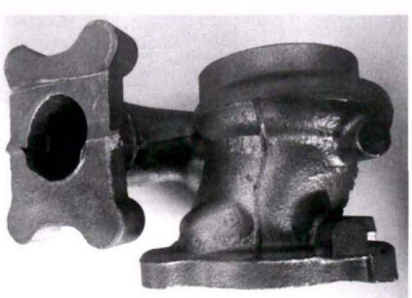


图 5 优化工艺铸件外观
Fig.5 Appearance of final castings made by optimized process

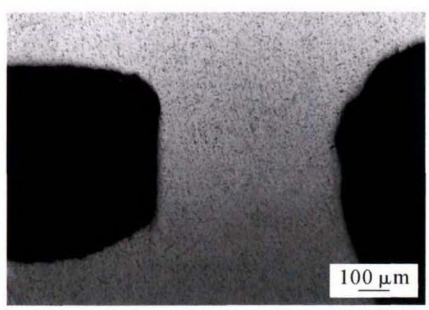


图 6 舌部金相
Fig.6 Microstructure of casting neck

(3)对优化工艺方案的模拟和实际验证，舌部缩松问题得到解决，同时消除了铸件次高点，解决了管壁位置的气孔缺陷，提高了铸件质量。

参考文献：

[1] 徐锦锋. 汽车涡轮增压器材料的现状和发展 [J]. 铸造技术, 2010,31(11):1522-1523.

[2] 纪汉成. 汽车涡轮增压器耐热钢涡壳型叠箱真空吸铸工艺研究[J]. 中国铸造装备与技术, 2018, 53(2):61-64.

[3] 徐佳珑. 奥氏体耐热钢涡壳铸造工艺研究 [J]. 新技术新产品, 2014, 4: 20-25.

[4] 金永锡，范仲嘉. 高镍奥氏体球墨铸铁涡轮增压器壳体材质及工艺研究[J]. 铸造,2005,54(5): 494-500.

[5] 孟冬波,徐锦锋. 涡轮增压器壳体铸造工艺数值模拟[J]. 铸造技术, 2011, 32(10):1399-2011.