DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.07.011

半圆环板铸造工艺优化

郝亮亮,杜　婷
(太原科技大学 晋城校区,山西 晋城 048011)

摘　要:对半圆环板的铸造工艺进行了模拟预测,并对砂型铸造过程和铸造缺陷进行了研究。在中型半圆环板结构和技术要求以及工艺难点分析基础上,设计了工艺方案;并使用 Pro/E 建立了铸件的三维模型,利用 AnyCasting 软件模拟了半圆环板的充型和凝固过程,分析了可能存在的缺陷。根据温度场和缺陷分布模拟结果,优化了工艺方案。结果表明,在铸件底部的表面,靠近冒口处出现缩松、缩孔缺陷的概率较大。通过冷铁改变凝固顺序,冒口的补缩效果得到提高,铸件无收缩类缺陷,铸造质量得到提高。

关键词:半圆环板;数值模拟;工艺优化;铸造缺陷

中图分类号:TG292　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)07-0641-04

Optimization of Casting Process for Half Ring Tube Shaped Casting

HAO Liangliang, DU Ting
(Jincheng Campus, Taiyuan University of Science and Technology, Jincheng 048011, China)

Abstract: The casting process of half-ring plate was simulated and predicted, and the sand mold casting process and casting defects were studied. Based on the analysis of the structure, technical requirements and technical difficulties of the medium half-ring plate, the technological scheme was designed. In addition, the 3D model of casting was established by using Pro/E, and the filling and solidification processes of the half-ring plate were simulated by AnyCasting software, and the possible defects were analyzed. According to the simulation results of temperature field and defect distribution, the process scheme was optimized. The results show that there is a high probability of shrinkage porosity and shrinkage cavity near the riser on the bottom surface of the casting. By changing the solidification sequence of the chillers, the shrinkage effect of the risers is improved, and the casting quality is improved without shrinkage defects.

Key words: half-ring tube shaped casting; numerical simulation; process optimization; casting defects

铸造工艺方案设计对铸件的整个铸造过程至关重要,工艺方案的优劣,成为了铸件的产品质量和生产效率的重要影响因素。在传统生产方式中,铸造工艺方案主要依据经验制定,需要经过多次试浇后来改进工艺方案,最终生产出符合要求的铸件,整个生产周期较长;对于结构要求高、批量小的铸件,影响较大[1]。

近年来,借助计算机数值模拟技术对铸造工艺过程进行仿真被国内外学者广泛应用[2-4]。半圆环板[5]为重要受力结构件,质量及精度要求较高。基于 AnyCasting 的数值模拟可快速直观的研究铸件的充型凝固过程以及可能产生的缺陷尺寸和位置[6,7],经过工艺研究和摸索,在数值模拟的基础上对工艺方案设计及其优化[8,9],进而得到最优的工艺方案。基于数值模拟软件对半圆环板铸件的砂型铸造过程进行模拟,预测产生缺陷展开研究,以获得半圆环板铸件的最优工艺方案,指导实际生产并保证铸件的产品质量。根据零件生产要求,对零件结构的铸造工艺性进行分析,采用数值模拟软件,对半圆环板模拟了充型、凝固过程,分析了温度场、流场的变化以及内部缺陷的发生规律,对缺陷发生概率较高的位置进行工艺方案优化,从技术上获得合理的工艺参数和铸件结构。

1　半圆环板铸造工艺分析

1.1　零件结构特点

半圆环板材质为铝硅共晶合金,其成分见表 1,质量 644 kg,在 Pro/E 中建立的三维实体模型如图 1。零件的外部轮廓尺寸:862.5 mm×1 725.0 mm×409.0 mm,铸件壁厚均匀,工件质量要求较高,铸件里面是空腔,底部内腔有加强筋。

铸件的最小壁厚处位于外壁处,壁厚 25 mm,最大壁厚是 92.5 mm,最大孔径为 ϕ1 640 mm,最小孔

收稿日期:2020-03-27
基金项目:太原科技大学晋城校区改革创新项目(JC201902)
作者简介:郝亮亮(1988-),山西阳城人,硕士,助理实验员.研究方向:特殊材料铸造生产工艺研究.
电话:18303468969,E-mail:812060438@qq com

表1 共晶铝硅合金的化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of EUTECTIC al-si alloy

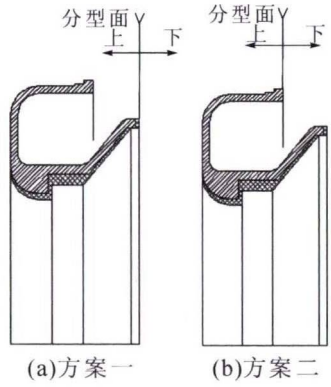
Si	Cu	Ni	Mg	Mn	Zn	Sr	Al
12	3.5	2.0	1.0	0.2	0.2	0.06	余量

图 1 半圆环板 3D 模型
Fig.1 3D model of the Half-ring tube shaped casting

径为 ϕ942 mm,属中型铸件,在铸造过程中很容易出现夹砂、气孔等缺陷,那么在确定铸造工艺时,需要综合考虑铸件的结构和技术要求等因素,液态成型是生产其毛坯或零件的唯一的方法。根据零件的技术要求采用树脂自硬砂作为半圆环板的造型材料,其具有尺寸精度高、表面粗糙度低、废品率低等特点。其他铸造工艺参数选择如下:铸件尺寸公差等级为 CT11,铸件重量公差等级为 MT11,机械加工余量为 F,铸件收缩率为 1%[10]。

1.2 浇注方案及分型面设计

根据零件结构特点拟定了以下两种浇注分型面如图 2。方案一如图 2 左所示:阶梯分型,由于分型面不是平面,这将会极大地增加造型过程的工作量和工作难度。



(a)方案一　(b)方案二

图 2 半圆环板浇注分型面
Fig.2 Parting surface of the Half-ring tube shaped casting

方案二如图 2 右所示,分型面位于同一个平面且在铸件最大断面处,造型时相对简单方便且在同一平面便于起模,方便设置冒口以便于补缩同时保证铸件质量;综合比较,选定方案二的浇注位置如图3。

半圆环板铸件采用开放式、中注式浇注系统,铸件自下而上凝固金属液平稳流入型腔。选择浇注系统各截面比[10]$\Sigma_{直}:\Sigma_{横}:\Sigma_{内}=1:2:3$。

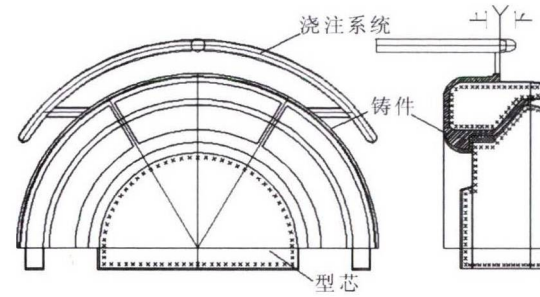


图 3 半圆环板浇注位置方案
Fig.3 Pouring Position Scheme

$$t=SG_L^{0.33} \tag{1}$$

式中,t 为浇注时间;S 为铸件壁厚系数,可由铸造手册查出;G_L 为型腔内金属液的总质量。

$$A_{内}=\frac{G_L}{\rho_L\mu t\sqrt{2gH_p}} \tag{2}$$

式中,A 内为内浇道的最小断面总面积横截面积;μ 为总流量损耗系数;H_p 为平均静压力头;ρ_L 为金属液的密度。

铝合金铸件的浇注时间和各单元截面积的计算公式(1-2),其它参数可参照铸造手册选取。计算得浇注时间为 15.38 s,内浇道、横浇道、直浇道的总面积分别为 37.25、18.63 和 12.43 cm^2。配置截面半径为 65 mm 的圆锥形直浇道,选择 8 个扁平内浇道。在铸件位于浇注位置最远处对称分布 2 个的冒口,以满足铸件的补缩和出气要求。

2 铸件数值模拟过程

通过三维建模软件 Pro/E 绘制出 3D 浇注系统模型,导出中间 STL 文件,并导入数值模拟软件的 AnyPRE 模块中进行铸造工艺数值模拟。

AnyPRE 数值模拟包括实体类型和铸型设置、求解域和划分有限差分网格,同时还可设置铸造过程中相关参数:铸造工艺、材料、初始边界条件、热交换、浇口条件等,选用的铸造方法为砂型铸造,浇注温度 720 ℃,由于浇注系统存在空腔区域,因此初始温度设定为 25 ℃,连续浇注。设置好的半圆环板模型如图 4。

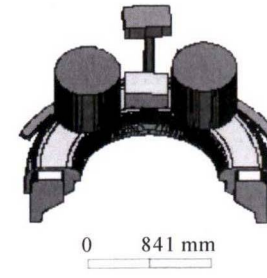


图 4 半圆环板数值模拟模型
Fig.4 Numerical Simulation Model

图 4 中共包含型砂、铸件、型芯、浇口、冒口、附属件及模具 7 个实体对象，此铸件为砂型铸造，采用非均匀划分网格的方式，经过 1.75 s 求解共得到 7.1×10^6 个网格，选定各个实体间热交换系数，铝硅共晶合金固相线温度为 550 ℃，液相线温度为 615 ℃，采用 SOR 迭代进行求解，全部相关参数设置完成后，保存为 *.gscx 文件。

在求解结束后，打开 AnyPost 后处理器，直观的看出，在充型开始阶段，金属液由内浇道流入型腔底部，从图 5(a)中可知，当充型率接近 30%时，铸件底部温度仍在 700 ℃以上，高于液相线温度，仍保持液体状态。随着充型的继续，型腔内的液面逐渐上升。铸件的主体区域温度已降低至 650 ℃，底部靠近浇口处的温度仍为 700 ℃以上。当充型率到达 80%时(如图 5b)，铸件型腔已全部充型，液面逐渐上升至顶部冒口区域。中注式浇注整个充型自下而上效果较好、速度快且稳定，观察金属液液面存在波动，但未发生飞溅、无明显浇不足，符合工艺技术要求。

凝固刚开始，铸件底部肋板由于热交换速度快最先凝固，从图 6 中可知，凝固率为 30.5%时，铸件底部圆环内外薄壁处开始凝固。

在金属液充满铸型型腔后，铸件的凝固过程既非顺序凝固也非同时凝固。主要原因是铸件厚大部位尺寸较大，内部空腔较多导致铸件存在热节，影响其凝固顺序。铸件厚大部位最后冷却，如果铸件的厚大部位无法得到及时补缩，那么在铸件最后凝固处就会形成缩孔。故半圆环铸件凝固顺序为圆环内外壁先凝固，冒口其次，铸件底部表面靠近冒口薄壁处为最后凝固区域。

3　铸件缺陷分析及工艺优化

在 Anycasting 中通常采用 RMM (retained melt modules)判据来判断铸件的缩松、缩孔缺陷形成的概率，RMM 判据基于铸件的凝固顺序，根据半圆环板铸件的凝固区域顺序，铸件后凝固区域因不能及时补缩而产生的缩孔缺陷概率越大。在整个凝固过程中，有的部位会因局部液相没有充足补缩而产生缩孔缺陷；如图 7 为半圆环铸件预测的缺陷分布情况，在铸件底部表面靠近冒口处发生缺陷的概率较大。

由图 7 得出，在模拟仿真中检测出半圆环铸件表面靠近冒口处有接近 90%的缩松、缩孔倾向性，故对铸件的冒口的补缩效率，需要采取优化工艺促进铸件的顺序凝固。

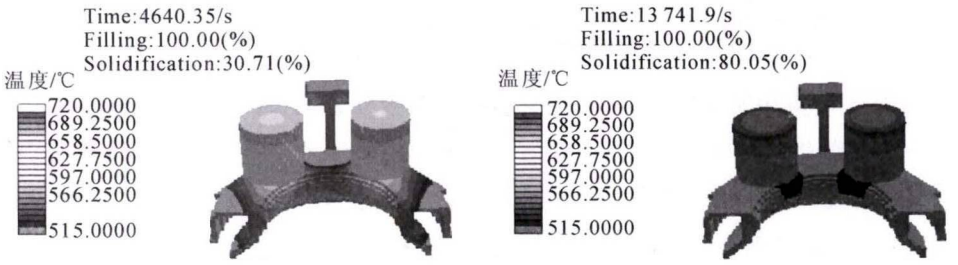
在铸件底部和铸件的热节部分放置冷铁，促进铸件的顺序凝固，提高冒口的补缩效率，消除热节带来的缺陷。本铸件采用模数法计算外冷铁，设置冷铁后，再次对铸件进行模拟，模拟结果如图 8。

从图 8 中可知，半圆环板铸件的凝固顺序已经得到优化，消除了缩松、缩孔的产生；另外，铸件厚大部位处凝固速度显著提高，温度场分布较优化前更加均匀，实现了预定的凝固顺序技术要求。从图 9 所示的模拟结果可知，采用优化后的工艺方案，铸件基本上无缺陷，铸造质量大幅度上升，满足实际使用要求。

(a)30%充型过程温度场分布图　　(b)80%充型过程温度场分布图

图 5 半圆环板充型过程温度场分布图

Fig.5 Temperature Field Distribution of During Filling



(a)30%凝固过程温度场分布图　　(b)80%凝固过程温度场分布图

图 6 半圆环板凝固过程温度场分布图

Fig.6 Distribution of Temperature Field During Solidification

图 7 预测的缺陷分布
Fig.7 Predicted defect distribution

(a)工艺优化后30%凝固过程温度场分布图

(b)工艺优化后80%凝固过程温度场分布图

图 8 工艺优化后半圆环板凝固过程温度场分布图
Fig.8 Temperature Field Distribution after Process Optimization

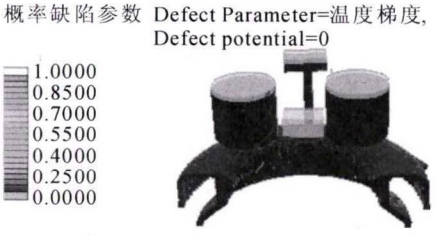


图 9 工艺优化后半圆环板凝固后期缺陷分布
Fig.9 Defect Distribution of Solidification after Process Optimization

得到改善,铸件基本上无缺陷,铸造质量大幅度上升,满足实际使用要求。

(4)数值模拟软件 AnyCasting 在铸件生产中对改善铸件工艺设计和验证非常有效且可视化,这在实际生产起到了一定的指导作用和可靠的技术基础,从而保证铸件的产品质量。

4 结语

(1)圆环板铸件工艺优化前数值仿真结果显示,铸件厚大部位最后冷却,且得不到及时补缩,形成缩孔。

(2)根据 RMM 判据判定,在铸件底部表面靠近冒口处发生缺陷的概率较大。

(3)优化工艺后,冒口区域最后凝固,补缩功能

参考文献:

[1] 孙义,赵玉刚,刘广新,等. 基于 AnyCasting 的减速器下箱体铸造模拟及工艺优化[J]. 热加工工艺,2020(7):60-62,67.

[2] 彭曼绮,程凯,李成信,等. 基于 AnyCasting 的铝合金弹底转座压铸工艺参数优化[J]. 铸造技术,2020,41(2):153-156.

[3] 刘骥,杜航,徐海登,等. 基于数值模拟的铝合金缸盖砂芯发气预测及工艺优化 [J]. 特种铸造及有色合金,2019,39(12):1301-1304.

[4] 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.

[5] 刘小华. ZL204 铝合金半圆环铸件铸造工艺设计 [J]. 铸造,2012,61 (3): 326-328.

[6] 殷子豪,林增煌,杨弋涛. 基于数值模拟的横梁铝合金铸件铸造工艺方案的优化设计 [J]. 中国铸造装备与技术,2019,54(6):5-11.

[7] 陈映东,丁旭,沈刚. 铝合金横梁树脂砂铸造工艺设计及模拟优化[J]. 铸造设备与工艺,2019(5):13-16.

[8] 夏伟,杜航,徐慧,等. 基于铸造仿真技术的铝合金缸盖缩孔缺陷控制[J]. 特种铸造及有色合金,2019,39(11):1202-1204.

[9] 孙帆,刘晓斌,李孝艳,等. 利用 Anycasting 软件辅助优化气缸体浇注系统[J]. 现代铸铁,2019,39(4):49-55.

[10] 李新亚. 铸造手册:第 5 卷·铸造工艺[M]. 第 3 版. 北京:机械工业出版社, 2014.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章:1、铸铁件均衡凝固与有限补缩;2、铸铁件冒口补缩设计及应用;3、压边浇冒口系统;4、浇注系统大孔出流理论与设计;5、铸件均衡凝固工艺;6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺;7、浇注系统当冒口补缩设计方法;8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页,特快专递邮购价 226 元。

邮购咨询:李巧凤 029-83222071,技术咨询:13609155628