

薄壁球壳铸造工艺设计及数值模拟

李燕霞, 张晓辉, 李 鹏

(河北汉光重工有限责任公司, 河北省双介质动力技术重点实验室, 河北邯郸 056017)

摘要: 介绍了球壳结构、技术要求及原工艺, 对侧壁缩松缩孔缺陷产生的原因进行了分析。针对问题进行分型和浇注系统优化, 并对排气系统进行校核后调整, 利用ProCAST软件对工艺优化方案和铸件质量进行了分析, 确定了合理的浇冒系统和排气系统。生产验证后, 铸件一次交验合格率由54.5%提升至89%。

关键词: 球壳; 气密; 数值模拟; 铸造工艺设计

近年来武器装备轻量化要求的提出, 对具有高强度、良好耐磨、耐腐蚀的铸造铝合金的需求越来越迫切。舰炮和导弹发射装置等武器装备的控制柜、架体、箱体等诸多铸件均采用了铸造铝合金材料^[1]。球壳是光电转台球鼓的重要结构件, 主要起到对内部精密零件的承载和保护作用。零件要求一定的气密性, 不能出现任何贯穿性的缩孔缩松、孔洞、裂纹等缺陷。近年批量生产中, 该铸件一次交验合格率仅为54.4%。

1 铸件技术要求及结构特点

1.1 结构特点

球壳总体呈球状, 左侧有两处“翅膀”凸块与主体连通, 右侧有一较大的透孔, 内部有多处不连贯圆台凸起, 壁厚不均匀, 如图1所示。零件要求为砂型变质铸造方法, ZL104材质, T6热处理状态。铸件尺寸为960 mm × 510 mm × 430 mm, 质量约16 kg, 球体部位壁厚为4 mm。

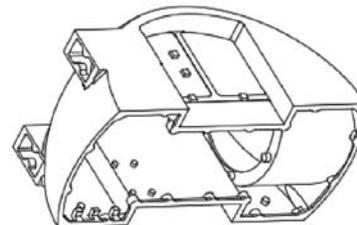


图1 球壳结构图

Fig. 1 The structure drawing of spherical shell

1.2 技术要求

零件需具备一定的密封性, 要求在1.35个大气压下10 min压降不超过1 kPa。铸件化学成分和力学性能要满足GB/T 1173—2013铸造铝合金的要求, 加工后质量需满足Ⅱ类铸件标准要求(表1和表2)。

表1 铸件化学成分要求

Table 1 Chemical composition requirements of casting

$w_B/\%$

Si	Mg	Mn	Fe	Al
8.0~10.5	0.17~0.35	0.2~0.5	≤0.6	余量

表2 铸件力学性能要求

Table 2 Mechanical property requirements of casting

热处理状态	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HB
T6 (淬火+人工时效)	≥225	≥2	≥70

作者简介:

李燕霞(1988-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为铸造工艺及模具设计。电话: 15830777801, E-mail: liyanxia_120@163.com

中图分类号: TG146.2;
TG242

文献标识码: B
文章编号: 1001-4977(2024)
07-1031-04

收稿日期:

2023-08-25 收到初稿,
2023-10-23 收到修订稿。

1.3 工艺性分析

从结构方面分析,铸件为球型壳体结构,前后凹块、左侧凸块和右侧透孔下芯困难,截面易变椭圆;铸件外形不规则,壁厚不均匀,浇注系统设计难度大^[2];铸件上表面为球面,不易放置冒口,补缩难度大。从技术要求方面分析,气密性要求对于薄壁件砂型重力铸造方法来说实现较为困难。

2 初始工艺方案

2.1 生产方式及条件

球壳采用树脂砂重力铸造工艺方法。模具材质为红松,芯盒采用拆分式的结构。造型时冒口、浇口设置在上箱,并扎透气孔。型砂强度及紧实度适中,砂箱刚度足够。砂芯表面涂抹均匀涂料,并进行点火烘干。

2.2 砂芯设计

为保证砂芯放置稳固,选择球面上,底口下的分型方法。为精准完成铸件内外结构,由5个砂芯组成型腔,如图2所示。浇注系统定制于砂芯内部,保证了浇注时间的可控性和工艺出品率的一致性。

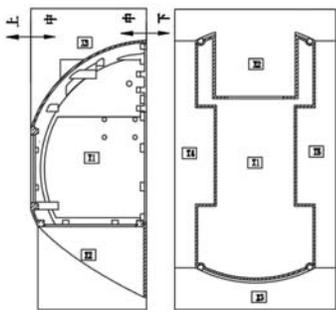


图2 砂芯设计图

Fig. 2 The design drawing of sand cores

2.3 浇注系统设计

铸件壁薄型腔小,为了保证金属液快速平稳充型,采用开放式浇注系统。为保证充足流量,浇注系统采用开放式底注^[3],如图3所示,直浇道、横浇道、内浇道总截面积比为 $\Sigma_{直}:\Sigma_{横}:\Sigma_{内}=1:3.3:3.5$ 。浇注方

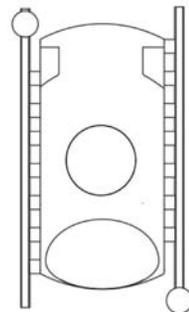


图3 浇注系统设计图

Fig. 3 The design drawing of gating system

式采用底注式,内浇道宽且薄,两侧多道同时充型。造型时在直浇道底部设置陶瓷过滤片,一方面及时过滤掉浇注时液流中掺杂的杂质;另一方面,降低铝液对铸型的冲击力,防止冲砂;此外,还避免了铝液产生紊流,防止卷气产生气孔缺陷^[4]。

2.4 冒口及冷铁设计

采用热节圆法设置8个冒口,右侧透口下缘靠边位置设置2个暗冒口,其余均为明冒口,工艺方案如图2所示。明冒口有利于金属液在充型过程中的排渣、排气。暗冒口散热比明冒口慢,补缩效率高,并且可以节省金属液^[5]。

在铸件底部、左侧翅膀厚大凸台处、右侧透口边缘及内部凸台处放置冷铁,一方面保证顺序凝固方式;另一方面加强了补缩,降低该处出现缩孔缩松等缺陷的概率^[6]。冷铁选择与铸件同材质,冷铁形状根据安放位置确定。

2.5 质量情况及原因分析

公司2021年投产第一批球壳铸件,清理后外观检验均未发现缺陷,但在机械加工后侧壁拐角出现了缩松孔洞缺陷,如图4所示。经过现场调查和技术分析,造成该种质量问题的主要原因是,该型腔上部为弧面,冒口放置难度大,无法规范放置,补缩效率低;拐角处为型腔蓄气较多难以排出的“死角”,该位置缺少排气系统设置。

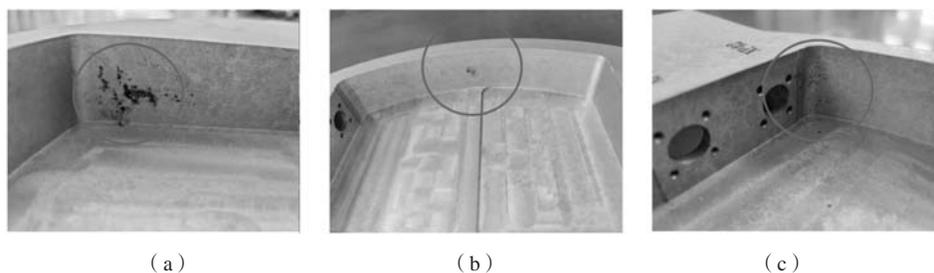


图4 实际缺陷位置图

Fig. 4 The actual defect locations

3 工艺优化及验证

3.1 分型方法优化

为方便明冒口的放置,保证侧壁热节的补缩效果,选择底口朝上,球面朝下,底口外表面为分型面。如图5所示。浇注时型腔上表面为夹杂聚集处,但考虑到底口外表面为机械加工面,且为非重要面,可以通过加工的方式去除表面残渣,所以将底口外表面设为分型面是可行的^[7-8]。

3.2 浇注系统优化

铸件底部为球弧形结构,所以采用片状内浇道与缝隙浇道复合的浇注方法(图5),其中隙缝浇道中圆柱尺寸为 $\Phi 20$ mm,缝隙长为15 mm,厚为8 mm。考虑到砂型铸造易产生夹杂,且铸件毛坯重量不是很大,所以采用半封闭式浇注系统^[9],直浇道、横浇道、内浇道总截面积比为 $\Sigma_{直}:\Sigma_{横}:\Sigma_{内}=1:3.3:1.6$ 。

3.3 排气系统优化

对于树脂砂造型中间壳类复杂薄壁铸件,总排气面积往往要大于内浇道及阻流面积的1.5~2.5倍^[10],才能使型腔气体顺畅排出,保证铸件质量。原工艺明冒口排气面积为 904.3 mm^2 ,而内浇道总面积为 800 mm^2 ,比值仅为1.13。

球壳型腔主要依靠明冒口排气,侧壁拐角处因受砂芯阻挡和液流压力的影响,部分气体排不出。为增

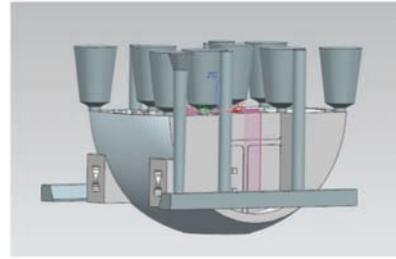


图5 铸造工艺图

Fig. 5 The casting process drawing

加该部位的排气能力,可在侧壁拐角处设计压边式排气道,排气道直径 $\Phi 16$ mm,增加排气道后可增加排气面积为 803.8 mm^2 ,则总排气面积增至 $1\ 708.1\text{ mm}^2$ 是内浇道总面积的2.1倍。

4 优化后数值模拟结果

运用ProCAST软件对铸件凝固过程进行数值模拟,设置材料为ZL104,造型用呋喃树脂砂,重力浇注方法,浇注温度为 $690\text{ }^\circ\text{C}$,砂型温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$,冷却方式为空冷。

4.1 温度场分布分析

球壳铸件凝固过程数值模拟结果如图6所示,从图中可以看出,温度场分布由下向上呈上升趋势,冒口位置温度最高,利于补缩。

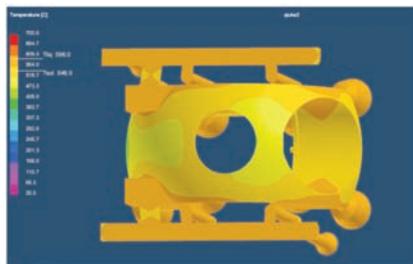
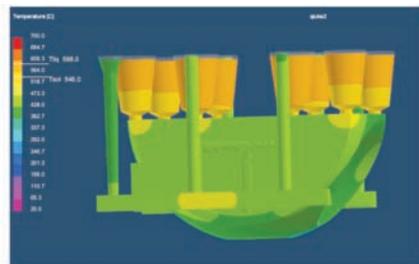
(a) $t=170\text{ s}$ (b) $t=650\text{ s}$

图6 凝固过程温度场数值模拟结果

Fig. 6 The numerical simulation results of temperature fields during solidification process

4.2 缩孔缩松缺陷分析

从缩孔、缩松缺陷率分析图中可以看出,大概率缩孔、缩松缺陷分布于浇道和冒口处,如图7所示。侧壁拐角处缩孔缩松缺陷基本消失。小概率的分散性缩孔、缩松缺陷分布在边沿和凸台位置,在方案中应加设随型冷铁。

5 生产验证

按照工艺方案进行一型一件的工艺布局造型、浇注、清理、热处理和检验。经检验铸件毛坯整体质

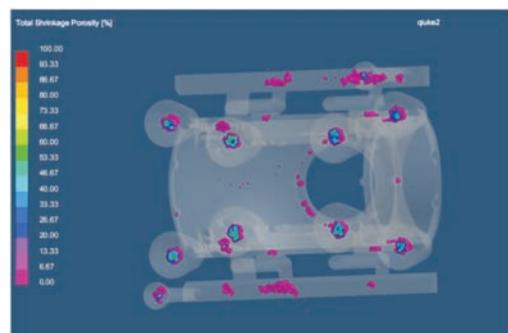


图7 缩孔缩松缺陷分布图

Fig. 7 The distribution of shrinkage hole and porosity defects



图8 机械加工后零件图

Fig. 8 The part photo after machining

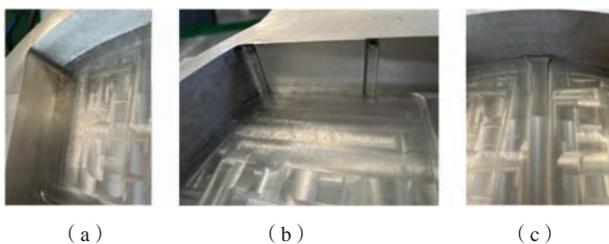


图9 侧壁位置检验结果

Fig. 9 The examination results of sidewall positions

量良好，轮廓清晰，内外表面平整，未发现裂纹、缩孔、缩松、冷隔等铸造缺陷，局部出现少量飞边，打磨清理即可。对随炉试样进行检验，铸件化学成分和力学性能检测结果符合技术条件要求。通过后期机械加工检验，铸件尺寸合格，如图8所示，且侧壁缩孔缩松缺陷消失，后与其他件组装后进行水密检验，满足技术要求条件，如图9所示，已经通过客户联合验收检查。

6 结论

(1) 分型方式优化后造型操作更加简便，侧壁补缩效果明显提高，侧壁缺陷率明显降低。

(2) 对铸造型腔排气能力和排气面积加以校核优化后，排气总面积与内浇道面积之比达到了2.1，型腔排气通畅，有效控制铸件质量。

(3) 工艺优化后，铸件气密一次交验合格率由54.5%提升至89%。

参考文献:

- [1] 陈延伟, 刘佳琳, 赵亚鹏. 铸造铝合金在舰船装备应用中存在的问题及发展趋势 [J]. 铸造, 2020, 69 (4): 329-334.
- [2] 李念奎, 凌果, 聂波, 等. 铝合金材料及其热处理技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012.
- [3] 李燕霞. U型支架铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2020, 69 (1): 89-92.
- [4] 柳百成, 黄天佑. 铸造成形手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [5] 李燕霞, 刘畅, 白日新, 等. 异构骨架砂型铸造工艺设计及其生产验证 [J]. 铸造, 2021, 70 (5): 590-593.
- [6] 赵葵, 何德道. 冷铁在铝合金缸盖铸造工艺中的应用 [J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37 (3): 338-339.
- [7] 谢永泽, 蒙传朝, 彭昱晨, 等. 铝合金气缸盖的快速铸造工艺 [J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43 (1): 139-141.
- [8] 杨柯, 夏承睿, 吴勤, 等. 重力倾转铸造汽油机铝合金气缸盖缩松缺陷改进方案 [J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40 (11): 1283-1285.
- [9] 刘艺, 郭颖, 谭健, 等. 机械传动上箱体铸造工艺设计及数值模拟 [J]. 热加工工艺, 2018, 47 (1): 143-146.
- [10] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 铸造工艺 [M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2011: 407-408

Casting Process Design and Numerical Simulation on Thin-Walled Spherical Shell

LI Yan-xia, ZHANG Xiao-hui, LI Peng

(Hebei Hanguang Industry Co., Ltd., Hebei Key Laboratory of Dual Media Power Technology, Handan 056028, Hebei, China)

Abstract:

The structure, technical requirements and original process of the spherical shell were introduced, and the causes of shrinkage defects on the side wall were analyzed. Aiming at the problem, the parting and gating system were optimized, and the venting system was adjusted after checking. The process optimization scheme and casting quality were predicted and analyzed by ProCAST software, and reasonable gating and feeding system were determined. After production verification, the first-pass rate of castings was increased from 54.5% to 89%.

Key words:

spherical shell; air tightness; numerical simulation; casting process design