

高液压射台前板球墨铸铁件铸造工艺设计

张鑫^{1,3}, 宋贤发², 李继强³, 贾志欣³, 项铮宇², 吴超², 李美红²

(1. 浙江大学, 浙江杭州 310058; 2. 宁波拓铁机械有限公司, 浙江宁波 315100;

3. 浙大宁波理工学院, 浙江宁波 315100)

摘要: 射台前板是注塑机中的关键部件之一, 其油缸孔部位加工精度高且有承压要求。本文介绍了高液压球墨铸铁射台前板铸件的工艺难点, 设计了分型方案、浇注系统及冷却系统, 并借助软件模拟分析了缩孔与缩松缺陷, 确定了型芯方案。通过合理选择铸件的化学成分, 严格控制球化、孕育及浇注过程, 铸件本体渗透检验 (PT) 达到EN1371标准的质量等级I级, 附铸试块铸件的力学性能和金相组织均符合客户标准。

关键词: QT450-10A; 铸造工艺; 激冷系统; 砂芯结构

1 射台前板技术要求

射台前板是保证注塑机高效注射、平稳运行及提供额定锁模力的关键部件之一, 在工作中直接影响注塑制件的成形质量。射台前板 (如图1) 毛坯重量1 700 kg, 浇注重量1 850 kg, 外形尺寸1 330 mm × 620 mm × 850 mm, 最大壁厚360 mm, 最小壁厚40 mm, 铸件成型后上部的机械加工余量为12 mm, 孔单边、下部、侧部的机械加工余量均为8 mm。射台前板铸件使用QT450-10A材质, 要求其附铸试块抗拉强度大于等于390 MPa, 屈服强度大于等于260 MPa, 伸长率大于等于8%, 微观组织中球化率大于等于85%、石墨大小为4~7。铸件有2个油缸, 不允许有缩孔、缩松等铸造缺陷, 油缸孔工作表面机加工后粗糙度要求 Ra 0.4~0.8 μm , 耐液压达到20 MPa的要求, 其难度比较大。

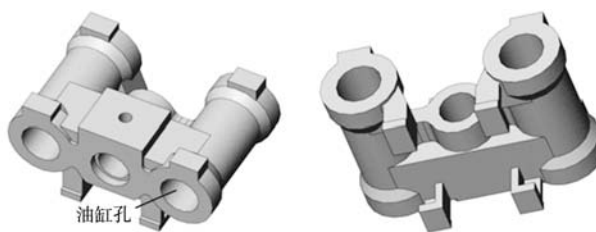


图1 射台前板3D示意图

Fig. 1 3D Casting Diagram

2 铸造工艺设计要点

2.1 浇冒系统设计

对于浇注系统的设计, 首要考虑能将高温铁液快速进入的型腔并分散开来, 发挥浇注系统最大的挡渣和排气作用, 减少缩孔、缩松形成的机率^[1-2], 结合注塑机射台前板铸件的结构特点, 采用半开放、底注式浇注系统。内浇道位于铸件单侧, 以“大流量、低流速、平稳洁净充型”为原则, 既保证了型腔内铁液温度均衡、充型平稳、充型迅速, 又较好地降低了铸件缩孔、缩松缺陷的形成机率, 同时也节约了生产成本。

直浇道、内浇道全部采用陶瓷管制作, 以减少冲砂缺陷。最小截面积设置在直

作者简介:

张鑫 (2000-), 硕士生, 研究方向为铸造工艺设计、机器学习等。电话: 17853832128, E-mail: 1445680349@qq.com

通讯作者:

宋贤发, 男, 教授级高工。电话: 13586531211, E-mail: sxf@nbtuotie.com

中图分类号: TG255

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977 (2024)

02-0239-05

基金项目:

2022 宁波市重点研发项目 (2022Z044, 2022Z046)。

收稿日期:

2023-01-10 收到初稿,

2023-04-21 收到修订稿。

浇道上, 横浇道部位设计过滤器。浇注系统截面积比为 $\Sigma F_{直} : \Sigma F_{横} : \Sigma F_{内} = 1 : 1.25 : 1.10$, 控制浇注时间 120~150 s 以内, 根据大孔出流理论计算直浇道阻流面积。

$$F_{直} = G / (0.31 \times \mu \times t \times \sqrt{H_p}) \quad (1)$$

式中: G 铁液的浇注重量, 为 1 850 kg; μ 流量系数为 0.35; t 为浇注时间, 取值 140 s; H_p 为平均压力头 10.02 mm。

将数据代入公式 (1) 可得 $F_{直} = 38.48 \text{ cm}^2$, 即 $F_{直} = \Phi 70$ 内径瓷管 1 支, 由浇注系统截面积比可得 $F_{横} = 30/40$ 高 70, $F_{内} = \Phi 30$ 内径瓷管共 6 道。

结合射台前板的结构特点和公司生产球铁时使用冒口的经验, 在两个油缸孔上部设置 2 个安全冒口 (如图 2 和图 3 所示), 一方面可以使得铁液在降温、凝固收缩过程中能够从此处的冒口获取少量补充的铁液,

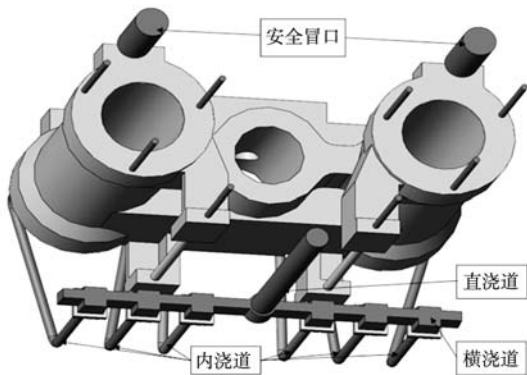


图2 浇注系统结构示意图

Fig. 2 Gating system schematic diagram

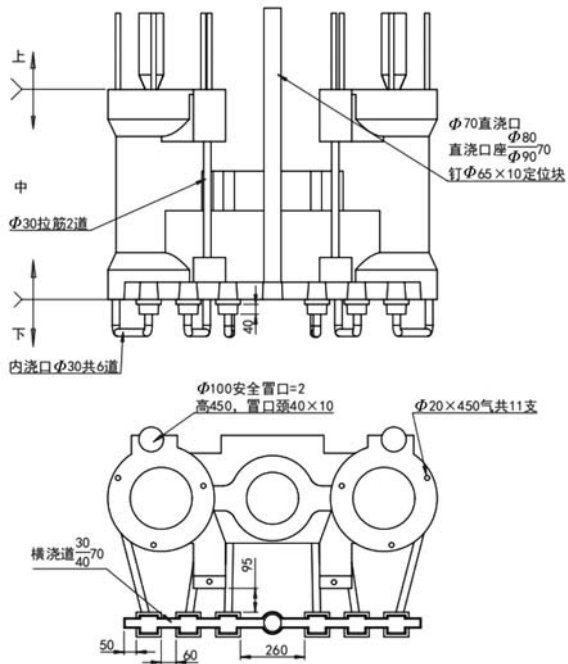


图3 铸造工艺图

Fig. 3 Casting process diagram

另一方面铁液浇注过程产生的高温气体还可以从这 2 个冒口排出降低油缸部位圈气的概率, 同时利用石墨化膨胀得到更加致密性的铸体, 进一步提高 2 个油缸孔部位的质量。

图 2 为浇冒系统的整体结构示意图, 该浇注系统造型方便并利于熔渣的上浮, 具有良好的挡渣效果。图 3 为铸造工艺图, 由于射台前板表面结构较为复杂, 两个油缸孔表面的技术要求较高, 为了达到所需的技术要求, 同时便于造型, 提高效率, 采用三开箱造型。

2.2 冷却系统设计

冷铁的作用是加快铸件热节圆处的冷却, 减小圆角处的热节圆, 防止圆角处产生缩松、缩孔缺陷。通过对产品结构分析, 本铸件容易在 4 个凸台处产生热节, 因为凸台的面积不大, 选择 4 块尺寸为 100 mm × 100 mm × 80 mm 的冷铁增加热节处的冷却速度, 冷铁布置如图 4 所示。

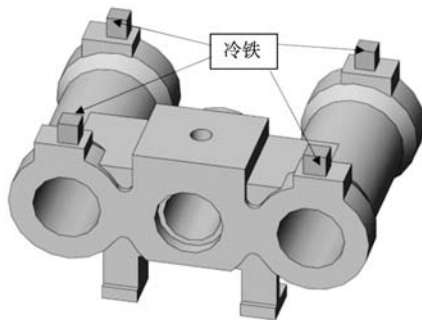


图4 冷铁布置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of cold iron layout

为了满足油缸孔工作表面机加工后粗糙度 Ra 0.4~0.8 μm 和耐液压 20 MPa 的要求, 油缸孔部位不允许有缩孔、缩松、疏松缺陷。冷铁解决缩孔、缩松、疏松缺陷的效果比较好, 一般只能将缺陷移位, 即将缺陷移到非关键部位, 而不能将缺陷消除, 除非有足够的补缩通道, 实现顺序凝固, 才能将缺陷移到最后凝固的冒口中。此外, 浇注过程中对浇注温度、孕育条件要求也比较高, 若孕育不好或者浇注温度过低, 与冷铁接触的部位易出现白口缺陷。根据铸件的结构与公司的实际情况, 油缸孔部位选取芯砂+铸铁砂芯骨架的冷却方法。

本文设计的砂芯结构如图 5 所示, 包括铸铁砂芯骨架和由外层型砂包覆而形成的砂芯, 其中外层包覆型砂为 30% 铬铁矿砂+70% 普通硅砂混合构成, 型砂包覆层厚度 20~30 mm。砂芯成型后, 外层包覆型砂强度控制在 0.9~1.1 MPa。这种设计冷却均匀且不容易出现掉砂, 获得铸件的油压工作面组织致密, 无夹渣、气孔和白口等铸造缺陷, 能够满足高压条件下使用。

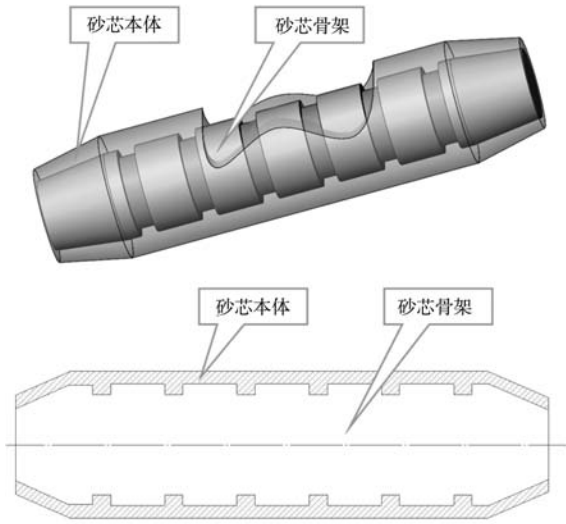


图5 砂芯结构示意图
Fig. 5 Sand core combination diagram

图6为两种砂芯的热节模拟情况，可以看出使用普通砂芯热节较大的位置主要在中心圆孔处以及冒口处，使用芯砂+铸铁砂芯骨架的热节明显比普通型芯的小。图7为铸件缩孔与缩松缺陷对比情况，可以看出缩孔与缩松缺陷主要集中在铸件上方靠近冒口的位置，使用芯砂+铸铁砂芯骨架后缺陷明显减少，更能保证油缸孔的使用性能。

3 化学成分选择与熔体处理控制

3.1 化学成分的选择

(1) 碳(C)与碳当量(CE)：高的C含量有利于石墨析出，石墨膨胀能够实现铸件的自补缩，防止缩松、缩孔的产生，CE值高能够提高铁液的充型能力，在不出现石墨漂浮的情况下尽量采用较高的CE值^[3]。因此C含量控制在3.45%~3.65%，CE值应控制在4.30%~4.45%。

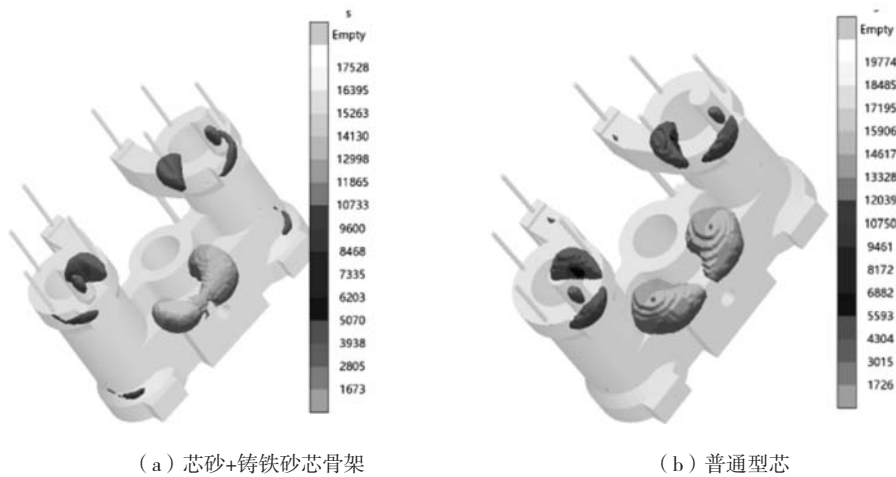


图6 热节对比
Fig. 6 Hot spot display

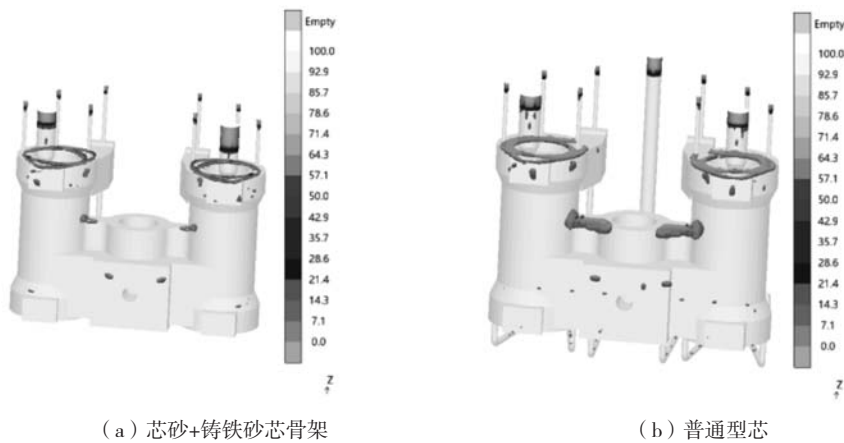


图7 缺陷显示
Fig. 7 Defect display

(2) 硅 (Si): 是促进石墨化元素, 增加含硅量一方面可以减少渗碳体、珠光体及三元磷共晶, 增加铁素体量, 改善铸件的塑性; 另一方面Si也可以固溶强化铁素体, 使强度和硬度提高^[4-6]。铸件中Si的最终含量一般不能高于2.8%, 本铸件控制在2.3%~2.6%的范围内。

(3) 锰 (Mn): Mn能够稳定碳化物、强烈促进珠光体的形成。一般情况下, Mn元素偏析的倾向较大, Mn含量过高会导致铸件力学性能恶化。本产品有油压要求, 为了提高材料的抗拉强度, 又不影响材料

的伸长率, 锰量控制在0.4%以下 (0.25%~0.40%)。

(4) 磷 (P) 和硫 (S): 这两类均属于有害杂质, 其中含磷量必须严格控制在0.02%以下, 以避免在铸件中产生过多的磷共晶, 降低塑性和韧性^[7]。硫是反石墨化元素, 会消耗球化元素, 必须控制在0.015%以下。

根据企业球墨铸铁生产经验及球墨铸铁件的质量标准要求, 最终选定铸态QT450-10A射台前板铸件的化学成分如表1所示。

表1 铸件化学成分
Table 1 Chemical composition of castings

C	Si	Mn	P	S	Mg	RE	Fe
3.45~3.65	2.3~2.6	< 0.4	< 0.02	< 0.015	0.03~0.05	0.01~0.03	余量

3.2 球化和孕育处理过程控制

控制球化剂加入量为1.10%~1.20%, 从而在保证铁液球化的条件下使得镁元素残余量在0.03%~0.05%范围内, 稀土残余量应控制在0.01%~0.03%范围内^[8]。球化处理时尽可能用大流量铁液冲入球化包, 既能使稀土和镁的回收率提高, 也可以使脱硫效果更为明显。球化处理后应及时扒净铁液上的浮渣, 并使用珍珠岩覆盖好铁液, 隔绝与空气接触、避免回硫现象。

为了提高铸件本体的球化率、细化石墨的稳定性, 提高铸件的综合性能, 确保生产的稳定性, 本铸件采用多次孕育的处理工艺, 并对孕育处理工艺进行了调整, 增加了浇注时随流孕育技术, 孕育剂加入量为0.10%左右。

3.3 浇注过程控制

本铸件采用低温快浇, 温度控制在1 290~1 320 ℃, 过高的浇注温度增加铸件的残余应力, 过低的浇注温度可能会产生浇不足。一般情况下, 球化和孕育处理后要在20 min内完成浇注, 以便得到球化良好的铸件。

4 实施结果

试生产3件射台前板铸件 (如图8), 制作样品进行力学性能以及金相组织的检验。铸件本体渗透PT检测符合EN1371标准的质量等级I, 两个油缸孔内无铸造缺陷。附铸试块检测结果如图9和表2所示, 技术要求金相组织中球化率 $\geq 85\%$ 、石墨大小4~7级, 实测球化率90%、石墨等级6级, 力学性能与微观组织均符合技术要求。



图8 抛丸处理前的注射座铸件
Fig. 8 Practically casting before blasting

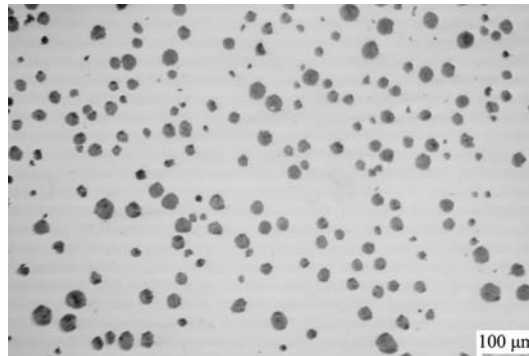


图9 附铸试块金相组织
Fig. 9 Microstructures of test block

表2 附铸试块力学性能
Table 2 Mechanical properties of attached specimen

项目	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度 HB	客户标准
标准值	≥ 390	≥ 260	≥ 8	160~210	客户标准
实测值	480	340	11	162	产品测试

5 结论

(1) 合适的化学成分为碳3.45%~3.65%、硅2.3%~2.6%、锰<0.4%、磷<0.02%、硫<0.015%、残余镁含量应控制在0.03%~0.05%、稀土残余量应控制在0.01%~0.03%。

(2) 采用底注多内浇道分散进铁液, 保证铁液平稳充型; 冒口与冷铁相结合, 冒口能溢流冷铁液并提供一定的液态补缩量, 冷铁加强关键部位冷却, 消除

或减轻缩松缺陷提高材料致密度和材质性能。

(3) 采用芯砂+铸铁砂芯骨架的冷却方法可以极大提高油缸孔的性能, 满足工作表面机加工后粗糙度 Ra 0.4~0.8 μm 和耐液压20 MPa的要求。

(4) 采用多次孕育, 并对孕育处理工艺进行了调整, 增加浇注时随流孕育技术, 可提高铸件本体的球化率、细化石墨的稳定性, 提高铸件的综合性能。

参考文献:

- [1] 项铮宇, 张亚敏, 周宁, 等. 大平面注塑机模板球墨铸铁件的铸造工艺设计 [J]. 现代铸铁, 2020, 40 (3): 46-49.
- [2] 宋贤发, 贾志欣, 傅明康, 等. 百吨级注塑机模板球墨铸铁件的生产 [J]. 铸造, 2014, 63 (8): 819-823.
- [3] 陈鹏辉, 柯志敏. 铸态QT500-14射台前板铸件熔炼工艺浅析 [J]. 铸造设备与工艺, 2019 (5): 17-19.
- [4] 潘密, 邵斌, 杨宗明, 等. QT350-22AL厚大断面低温球墨铸铁件熔炼生产工艺 [J]. 铸造, 2022, 71 (9): 1169-1172.
- [5] 陈金雷, 闫国栋, 李朝晖, 等. DN2600球墨铸铁管制造技术 [J]. 铸造, 2007 (2): 170-176.
- [6] 肖海波. 铸态QT600-10材料的生产应用 [J]. 铸造, 2018, 67 (8): 732-736.
- [7] 柳建国, 陈娟. 熔模铸造QT450-10低温高冲击性能研究 [C]//第十四届中国铸造协会年会论文集, 2018: 135-138.
- [8] 张继峰. 提高QT450-10铁素体球铁铸态率的工艺方法 [J]. 现代铸铁, 2017, 37 (2): 28-31.

Casting Process Design of Ductile Iron Castings for the Front Plate of High Hydraulic Shooting Table

ZHANG Xin^{1,3}, SONG Xian-fa², LI Ji-qiang³, JIA Zhi-xin³, XIANG Zheng-yu², WU Chao², LI Mei-Hong²
(1. Zhejiang University, Hangzhou 310058, Zhejiang, China; 2. Ningbo Tuotie Machinery Co., Ltd., Ningbo 315100, Zhejiang, China; 3. Ningbo Tech University, Ningbo 315100, Zhejiang, China)

Abstract:

The front plate is one of the key components for the injection molding machine. The oil holes on the front plate have high precision machining and the requirements of enduring high oil pressure. In this paper, the key points have been discussed in the production of high-hydraulic-pressure ductile iron casting. The process scheme of the partition, gating system, and cooling system are presented. The core scheme is determined through simulation software to avoid shrinkage and porosity defects in the casting. By reasonably selecting the chemical composition of the casting as well as strictly controlling the spheroidization, inoculation, and pouring processes, the casting body penetration test (PT) reached quality grade I of EN 1371. The mechanical properties and metallographic structure of the cast test block meet the requirements of customer's standards.

Key words:

QT450-10A; casting process; cooling system; sand core structure