

厚重球墨铸铁本台体铸件树脂砂实型铸造工艺探索

王世锋¹, 杨晋娜¹, 雷翠平¹, 贺献峰²

(1. 黄石新兴管业有限公司, 湖北黄石 435005; 2. 江苏锡华铸造有限公司, 江苏泰州 241000)

摘要: 简述厚重球墨铸铁件本台体的结构特点、技术要求以及制作难度。阐述该类铸件的铸造方法、浇注系统设计方法以及制作方法等。介绍了树脂砂实型铸造的工艺特点, 生产优势及适用范围。在生产过程中, 通过严格工艺控制, 选择合适的原材料, 适当的球化孕育处理工艺, 特殊的预处理技术等, 完全能够生产出高质量的大型球墨铸铁铸件, 这可为同类厚重铸件的实型铸造工艺生产提供技术参考。

关键词: 厚重球墨铸件; 实型铸造; 铸造工艺

现代铸造工艺技术将会围绕节能节材、少无污染、提高铸件尺寸精度、铸件少无缺陷和满足新的铸造合金发展几个方面加快开发与发展^[1]。我公司具有年产2万吨铸铁件的生产能力(离心球墨铸铁管除外), 公司紧跟铸造行业发展的步伐, 陆续开发(呋喃树脂砂+泡沫消失模实体模样)铸造工艺和真空消失模铸造工艺, 用泡沫消失模实体模样取代传统(木质模样+木质芯盒)造型、制芯装配工艺。

公司承接的本台体球墨铸铁件(QT500-7)毛重18 350 kg, 主体外形尺寸达(长×宽×高)3 650 mm×1 480 mm×1 230 mm, 主体壁厚100 mm, 最厚处达450 mm, 装配面形状不规则且质量要求严格, $\Phi 100$ mm深170 mm闷头孔5个, $\Phi 70$ mm深540 mm长通孔6个, 订单数量2件, 总体铸造难度较大。本台体零件结构见图1。我公司具备真空消失模、树脂砂和消失模实型三种铸造工艺生产能力。经过工艺分析及评审决定采用呋喃树脂砂+消失模实型铸造工艺进行制作, 以下简称实型铸造。这样即能保证交货期, 又能够降低生产成本。

1 本台体实型铸造工艺方案

实型铸造与普通砂型铸造有很大不同。实型铸造的最大特点是用泡沫消失模模样代替木模样, 工艺人员在模样设计过程中不用考虑分型负数、芯头、定位以及起模斜度等, 只需增加机械加工余量和铸造收缩率即可。模样制作过程操作简单, 先将模样分割成若干块, 再将各模块拼接在一起, 组装好的模样尺寸精度高, 模样制作过程中使用的原材料较少, 生产周期较木模样大大缩短; 同时又简化了造型操作, 中间省去了单独造型、制芯以及型和芯拼装的过程, 生产效率大大提高。缺点是若铸造工艺考虑不周全, 会产生特有的实型铸造缺陷, 如皱皮、夹渣、气孔等^[2]。实型铸造工艺流程见图2。

1.1 模样工艺

1.1.1 泡沫模样

泡沫模样与本台体铸件形状、结构完全相同, 在零件图的基础上加上机械加工余量、铸造收缩率后制作模样三维图, 根据三维模样将本台体模样拆分为若干个模

作者简介:

王世锋(1984-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为离心球墨铸铁管、灰铁管、树脂砂管件工艺研发, 消失模铸造、实型铸造工艺研发。电话: 18827685699, E-mail: sharp-wwang@126.com

中图分类号: TG249
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2020)09-0938-05

收稿日期:

2019-11-26 收到初稿,
2020-05-27 收到修订稿。

块,一方面保证工人便于切割操作和节约泡沫板材,另一方面保证方便拼接组装,确保组装后的本台体模样的尺寸精度。所用泡沫板材通过数控雕刻+电热丝切割两种方式进行下料制模,再粘接组装成本台体模样。为保证模样具有足够的抗压强度和抗变形能力,选用聚苯乙烯泡沫板材的密度在20~22 g/L。组装好的模样(见图3)放置在专用烘干窑内烘烤10~12 h,模样烘干的温度一般控制在45~55 ℃,烘烤好的模样先刷两遍水基铸铁消失模涂料,最后刷一遍醇基石墨涂料,涂刷方式采用淋涂,涂料厚度控制在3~3.5 mm,涂刷好的模样见图4。

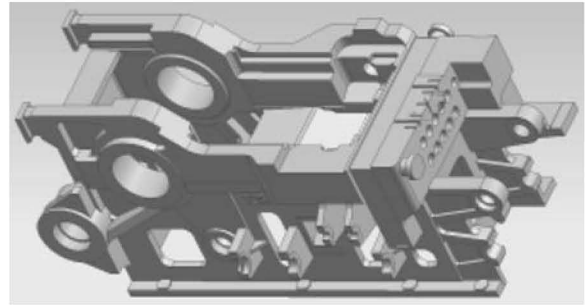


图1 本台体三维结构图

Fig. 1 Three-dimensional structure of table body

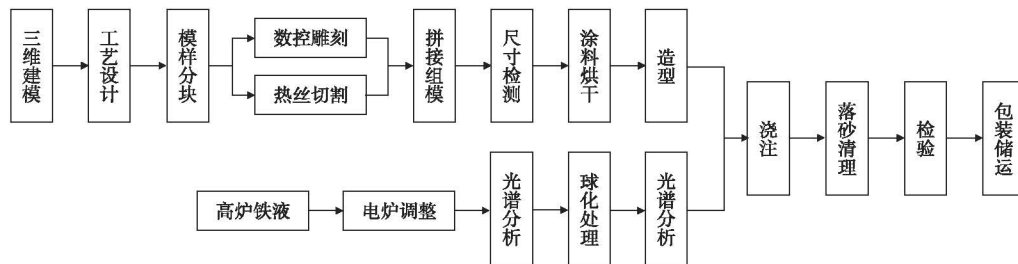


图2 实型铸造工艺流程图

Fig. 2 Flow chart of full mold casting process

1.1.2 专用泡沫胎模

本台体铸件中间部分为一个大型空腔,由于模样整体轮廓较大,为保证造型时该部位有足够的强度,制作与空腔部位形状完全相同的专用泡沫胎模,造型时专用泡沫胎模作为底部支撑,提高整体模样的刚度,保证舂砂的过程中模样不变形,造好型后翻箱取出,该泡沫胎模可以重复使用。模样与专用泡沫胎模装配示意图如图5。

1.2 工艺设计

本台体轮廓大、厚、重,采用两组开放的底注双层阶梯式浇注系统,局部重要部位使用外冷铁,防止内部缩松。工艺上考虑均衡凝固的原则,利用冒口及排气孔的设置保证补缩、排渣、排气。

1.2.1 浇注系统设计

在生产厚大球铁件时尽可能缩短浇注时间,对减少石墨漂浮和夹杂物的聚集是有利的^[3]。通过对本台体的轮廓形状以及内部结构进行分析,采用两组开放的阶梯式浇注系统,分为上下两层,下层浇注系统主要用于充型,上层浇注系统主要用于排渣、排气及补缩。两组浇注系统分布在泡沫模样的两侧,上层浇系引入位置选在顶部明冒口底部,即利于排气又使铁液中的浮渣和泡沫塑料气化产生的熔渣充分上浮,保证

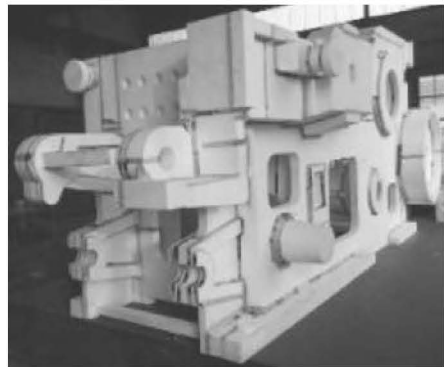


图3 组装好的消失模模样

Fig. 3 Assembled lost foam pattern



图4 涂刷好的模样

Fig. 4 Painted pattern

冒口的补缩作用和杜绝铸件表面夹渣缺陷。

本台体属于重型铸铁件，浇注时间可依据灰铁件计算：

$$t=S_2\sqrt{G_L} \quad (1)$$

式中： G_L 为型内金属液总重量，出品率按92%计算， G_L 取19 945 kg； S_2 为壁厚系数，取2.2；因此浇注时间 $t=310$ s，两套浇系则浇注时间取155 s。球墨铸铁件浇注时间可按灰铁件浇注时间计算方法确定，然后减少1/3~1/2^[1]，取浇注时间 $t=90$ s。按照球墨铸铁大件的浇注时间图对浇注时间进行校核，可以看出该浇注时间取值合理。

根据阻流断面计算公式：

$$\sum A_{阻}=G_L / (0.31 \mu t \sqrt{H_p}) \quad (2)$$

式中：流量系数 μ 取0.5， H_p 取40 cm， $G_L=19\ 945/2=9\ 972.5$ kg。

则： $A_{阻}=9972.5 / (0.31 \times 0.5 \times 90 \times \sqrt{40}) \approx 113\text{cm}^2$ 。因开放式的浇注系统最小阻流断面为直浇道，通过计算直浇道选用 $\Phi 120$ mm陶瓷管。浇注系统各组元断面比例按 $A_{直}:A_{横}:A_{内}=1:(1.2\sim 2.0):(1.5\sim 2.0)$ 。则横浇道截面选为150 mm×120 mm；内浇道选为单组两根的梯形截面，梯形上底110 mm，下底140 mm，高80 mm。实际浇注系统截面比为 $A_{直}:A_{横}:A_{内}\approx 1:1.6:1.8$ 。浇注系统布置示意图如图6。

1.2.2 外冷铁设计

本台体铸件壁厚较厚，在关键及厚大部位使用外冷铁，以防止该部位出现疏松缺陷达到均衡凝固的目的。在生产过程中严格控制冷铁的使用次数，要确保冷铁表面的光洁度，不能有锈蚀及孔洞^[4]。每次使用前要抛丸处理，表面刷一层醇基涂料，与铸件表面贴合紧密，不能有缝隙。

1.2.3 冒口及排气设计

设计原则：保证厚大部位的收缩得到有效补缩。由于铸件属厚大件，使用补缩冒口进行补缩，这样才能获得合格的铸件^[5]，顶部选用10个 $\Phi 280$ mm×400 mm的补缩冒口，均匀布置在铸件上端面的两侧，上层横浇道和内浇道分别穿过补缩冒口，冒口内即能收集到热的铁液，又能保证浮渣充分上浮排出，起到补缩、排渣、排气的综合作用。

泡沫型的内排气通道和铸型的外排气通道，是改善模样的气化条件，加速铸型内气体充分溢出型外的两项工艺措施。对于厚大铸件，除了在铸件上端面安放一些冒口外，还可在铸型内以及沿泡沫型的外侧设置多条外排气通道。在铸件顶部厚大部位，造型盖箱前在模样内部开设出气通道，保证浇注初期就能及时

将型腔内的气化气体排出。

2 造型工艺控制

树脂的加入量控制为0.9%~1.2%，大件、型芯取上限。首先将专用泡沫胎模固定在造型平台上，把泡沫模样放在专用泡沫胎模上，造下型，待完全固化后翻箱，取出专用泡沫胎模后造上型。

在本台体前端的闷头孔和长通孔需要提前将特制的成孔芯棒预埋各个孔中，成孔芯棒是选择尺寸与闷头孔和长通孔相当的陶瓷管进行拼接，内部填树脂砂中间插钢筋棍进行捣实、外刷醇基石墨涂料，待完全固化后放在泡沫塑料模样的各个孔中。为避免实型模样在气化过程中陶瓷管移位，中间插 $\Phi 16$ mm螺纹钢与砂型固定，螺纹钢芯骨外端增加T型结构，使外面的树脂砂将芯棒牢牢固定，成孔芯棒组装如图7。下型造好后翻箱，在消失模模样厚壁部位用 $\Phi 10$ mm圆钢扎出排气通道，在距离泡沫模外侧40 mm处设置多条 $\Phi 30$ mm的外排气通道，排气通道的深度与泡沫模样高度基本一致。

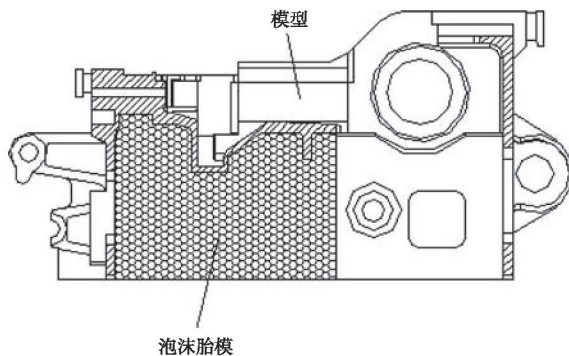


图5 模样与专用胎模装配示意图

Fig. 5 Assembly diagram of model and special pattern

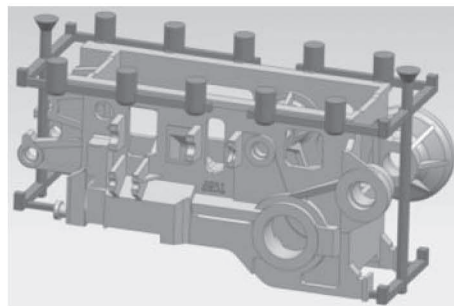


图6 浇注系统布置示意图

Fig. 6 Layout diagram of gating system

3 球化孕育处理

球化处理是球铁件生产的关键工序之一，其处理工艺直接影响球墨铸铁的性能^[6]。采用包内球化孕育处理，球化剂采用ZFCR-7球化剂，加入量为1.2%；孕育剂采用YFY-150孕育剂，加入量为0.6%。通过增加孕育剂的加入量、多次孕育等方式来保证球化孕育的效果。

由于本台体重量较大，为了得到所需要的各项性能指标的要求，加强铁液抗衰退能力，根据许多厂家的经验，对铁液进行预处理，就是在球化处理前，在铁液中投入预处理剂，一般加入0.8%的SiC预处理剂，目的就是增加了形核核心，提高铁液的内在质量和流动性。

4 浇注工艺控制

采用双包同时浇注，浇注时要求大流量快速不间断浇注，消失模实型的浇注温度一般要比普通砂型温度高30~50℃左右，本台体比较厚重，浇注温度选择1410~1420℃。球化前铁液成分为3.5%~3.7% C，1.2%~1.4% Si，Mn≤0.5%，P≤0.06%，S≤0.04%，0.5% Cu；球化后成分控制为3.4%~3.6% C，2.3%~2.5% Si，Mn≤0.5%，P≤0.06%，S≤0.012%，0.5% Cu，0.04%~0.06%残Mg。整个浇注过程中通过浇口杯进行即时随流孕育，随流量控制在0.08%~0.1%。

5 自然冷却

浇注结束后，利用树脂砂良好的保温性和溃散性，让铸件在铸型内自由缓慢冷却，以达到消除应力时效退火的目的^[7]。根据以往大型铸件经验，浇注8 h后解除封箱系统，24 h后移除压箱铁，96 h后开箱落砂，去除顶部浇冒口系统。

6 铸件的组织与性能

生产的本台体铸件见图8。通过对试棒进行性能试验，结果见表1，本体部位金相结果见图9。

7 结束语

通过对厚重球铁铸件本台体的首件制作，在生产过程中对浇、冒口系统的有效性和合理性进行了验证，进一步完善了集充型、排气、排渣、补缩于一体的浇注系统设计，解决了实型铸造工艺容易产生表面夹渣、皱皮、缩松等缺陷问题。对于本台体铸件，由于铸件的壁厚较厚，凝固时间较长，且性能要求较高，生产工艺上有很大难度。通过严格工艺控制，选择合适的原材料，适当的球化孕育处理工艺，特殊的预处理技术等，完全能够生产出高质量的大型球墨铸铁铸件。

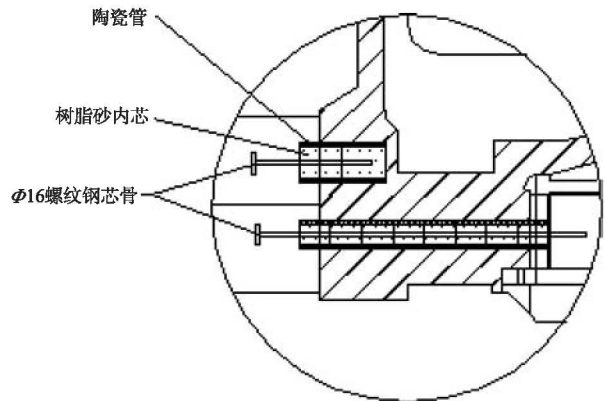


图7 成孔芯棒组装示意图

Fig. 7 Assembly diagram of perforated mandrel



图8 本台体铸件

Fig. 8 Table body casting

表1 试棒性能试验结果
Table 1 Mechanical properties of test bars

编号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
1	520	330	7.2
2	508	322	8.2
3	532	332	8.0
4	524	325	7.6

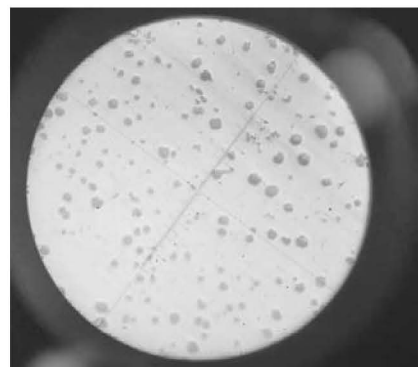


图9 本台体金相组织

Fig. 9 Metallographic structure of table casting

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 吴英, 王清宇. 实型铸造工艺在铸造生产中的应用 [J]. 铸造, 2009 (7): 740-743.
- [3] 王承辉, 徐怀志, 李德文, 等. 厚大球铁件生产技术的研究 [J]. 铸造, 2012 (11): 1336-1339.
- [4] 何文东. 风电铸件表面夹杂的成因分析及预防措施 [J]. 铸造, 2013 (7): 694-696.
- [5] 沈闯, 刁晓刚, 于志斌, 等. Z字形厚大断面球墨铸铁平台的生产实践 [J]. 铸造, 2019 (5): 488-491.
- [6] 尤明. 喂线法球化处理大型球墨铸铁磨盘铸件 [J]. 铸造, 2014 (5): 504-506.
- [7] 韩国大, 吴景欣. 铸件在树脂砂型中的保温时效 [J]. 中国铸造装备与技术, 2008 (1): 42-43.

Resin Sand Full Mold Casting Process of Heavy Ductile Iron Table Casting

WANG Shi-feng¹, YANG Jin-na¹, LEI Cui-ping¹, HE Xian-feng²

(1. Huangshi Xinxing Pipes Co., Ltd., Huangshi 435005, Hubei, China; 2. Jiangsu Xihua Foundry Co., Ltd., Taizhou 241000, Jiangsu, China)

Abstract:

The structural characteristics, technical requirements and manufacturing difficulties of the heavy ductile iron table casting are briefly presented. The casting method, gating system design method and manufacturing method of this kind of castings are expounded. The technological characteristics, production advantages and application scope of resin sand full mold casting are introduced. The heavy ductile iron table casting with high quality has been produced through strict process control, appropriate molten iron treatment and especial pretreatment in the production process, which can provide technical reference for the full mold casting process of the same heavy castings.

Key words:

heavy ductile iron casting; full mold casting; casting process
