

高强韧性球墨铸铁轮盘铸件的试制

古毅康¹, 康晋辉², 李平¹, 李朝霞³

(1. 河南理工大学材料科学与工程学院, 河南焦作 454003; 2. 驻马店技师学院机械工程系, 河南驻马店 463000; 3. 焦作固德联合机械制造有限公司, 河南焦作 454150)

摘要: 根据球墨铸铁轮盘铸件的结构特点, 进行了铸造工艺设计。采用顶冒口和热侧冒口相结合实现顺序凝固, 对铸件进行有效补缩。针对材质技术要求, 对熔炼和浇注工艺、热处理工艺进行了研究。结果表明, 采用设计的铸造工艺和热处理工艺批量试生产的轮盘铸件没有出现缩孔、缩松、夹渣和气孔等缺陷, 材质性能满足客户要求。

关键词: 球墨铸铁; 轮盘; 铸造工艺; 等温淬火热处理

轮盘作为一种常用的传动装置基础零件, 其受力状况较为复杂, 在工作的过程中经常受到外力的冲击、磨损、腐蚀等, 需要有良好的力学性能, 在轻量化的前提下, 具有足够的强度、刚度和动态稳定性。对铸件显微组织均匀性要求高, 且不能有气孔、渣眼、夹砂、冷隔、缩松等铸造缺陷。轮盘类铸件主要使用普通粘土砂进行造型, 由于轮毂和轮缘处存在热节, 为防止铸件中缩孔缩松缺陷, 通常采用冒口或配合冷铁对轮毂处进行补缩^[1-3]。

某公司承接了国外某印刷设备中的轮盘铸件订单, 材质为高强韧球墨铸铁, 牌号为欧标EN1563中的EN-GIS-HB300 (EN-JS2080)。铸件壁厚不均匀, 最厚和最薄处壁厚相差较大, 零件中孔数较多, 铸造难度较大。本文对轮盘进行铸造工艺性分析, 设计出合适的工艺方案、工艺参数和浇冒口系统, 生产出合格的轮盘产品。

1 轮盘的结构分析和技术要求

1.1 结构分析

轮盘的零件结构如图1所示, 轮廓尺寸: 最大直径322 mm × 高36 mm, 零件重量约为6.6 kg。其结构虽然不太复杂, 但零件壁厚相差较大, 其中轮缘处壁厚为13 mm, 轮毂处壁厚为36 mm, 中间辐板壁厚为7 mm。零件轮缘、轮毂和辐板中存在很多不同直径的孔, 轮缘外侧有22个半径6.1 mm的半圆, 轮毂处分布有9个直径为13.5 mm和1个直径为16 mm的孔, 辐板上均匀分布有11个直径为24 mm和1个直径为21 mm的圆孔, 中间轴孔为3个不同直径 $\Phi 85$ mm- $\Phi 68$ mm- $\Phi 47$ mm的台阶孔。经过分析, 中间

作者简介:

古毅康(2000-), 男, 硕士生, 主要从事铸造工艺和腐蚀磨损研究工作。电话: 18639150572, E-mail: 2529570146@qq.com

通讯作者:

李平, 男, 教授, 博士。电话: 13849509905, E-mail: leeping68@163.com

中图分类号: TG255

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2023)11-1493-04

基金项目:

河南省高校基本科研业务费专项资金(NSFRF170502)。

收稿日期:

2023-01-29 收到初稿,

2023-04-03 收到修订稿。

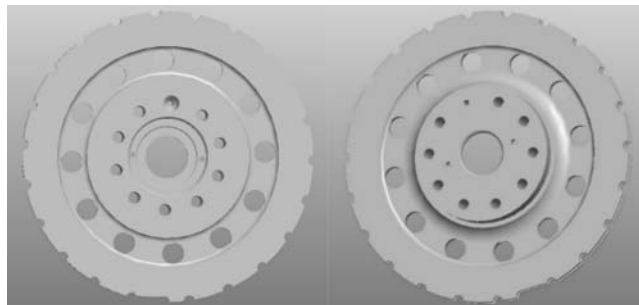


图1 零件结构三维图

Fig. 1 Three-dimensional diagram of part structure

轴孔和辐板上11个 $\Phi 24$ mm孔为可铸出孔, 轮毂上的9个 $\Phi 13.5$ mm孔、1个 $\Phi 16$ mm孔、轮缘外侧22个半圆和辐板上1个 $\Phi 21$ mm孔为不铸出孔, 后期通过机加工完成。该零件的一些部位尺寸精度和表面平整度要求较高, 因此对于造型控制有较高要求。

1.2 技术要求

客户要求的轮盘材质技术标准EN-GJS-HB300 (EN1563), 其力学性能: 抗拉强度 ≥ 800 MPa, 屈服强度 ≥ 480 MPa, HB硬度245~335。

铸件尺寸公差按CT11要求^[2], 零件粗糙度要求高, 除辐板除面及 $\Phi 21$ mm孔的粗糙度要求为 $Ra 12.5 \mu\text{m}$ 外, 其他面的粗糙度要求为 $Ra 1.6 \mu\text{m}$ 或 $Ra 3.2 \mu\text{m}$, 需要后续机加工达到。加工余量确定为: 轮缘圆周5.5 mm, 中间轴孔圆周4.5 mm, 轮缘上下平面、轮毂上平面等位置4 mm。铸件重量约为12.6 kg。

2 铸造工艺设计

2.1 造型方法确定

采用树脂砂机械造型方式, 呋喃树脂加入量为

1%~1.5% (占原砂质量)^[4], 低硫磷酸固化剂加入量为30%~70% (占树脂质量), 在自动混砂机中混制而成, 由于轮盘属于中小型零件, 造型为一箱布置两件进行生产。

2.2 浇注位置和分型面的确定

该铸件沿轴孔主轴方向具有一定程度的对称性, 为便于造型起模, 在垂直于主轴的大平面位置进行分型。第一种方案选择在轮缘高度方向中间处进行分型, 如图2所示中的位置I, 采用中间分型, 上下砂型错偏容易发现和调整, 型芯定位准确。第二种方案选择轮缘最下方即最大平面处进行分型, 将铸件整体放入一个砂箱中, 如图2中位置II所示, 该方案起模方便, 但不容易发现造型过程中上下砂型的错偏现象。故分型面选择图2中的位置I。

该铸件含有大平面结构, 如图3所示中方案I和方案II, 根据大平面和重要面朝下的原则, 因此选择方案I较合适。将轮毂凸起部分放在上面, 通过冒口的补缩和砂型上扎通气孔可以有效预防轮毂顶部位置产生缩松、缩孔、气孔等缺陷, 在铸件轮缘外侧分型面处设置内浇道。

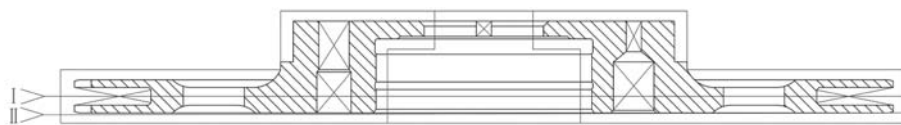


图2 分型面位置

Fig. 2 Position of parting surface

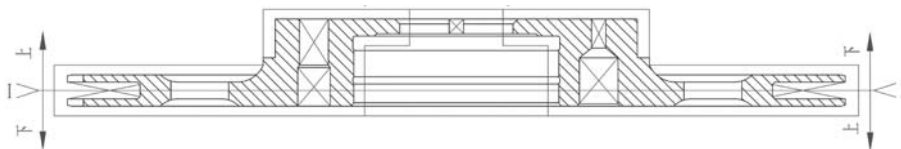


图3 浇注位置

Fig. 3 Pouring position scheme

2.3 铸造收缩率

铸造收缩率受铸件材质和结构、采用的铸型和砂芯种类、内浇口和冒口位置、大小和数量等很多因素影响, 根据工厂经验该轮盘选取收缩率为1.0%, 在实际生产过程中, 结合轮盘铸件实际尺寸变化情况进行局部调整, 满足了图纸要求。

2.4 浇冒系统设计

2.4.1 浇注系统设计

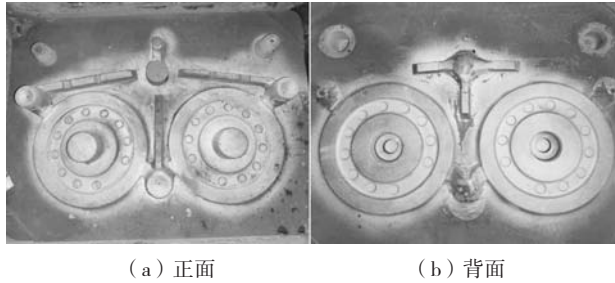
采用半封闭式浇注系统, 金属液充型平稳、氧化小, 型腔内气体容易排出, 符合该轮盘铸件的结构特征^[5]。内浇口从分型面引入, 每个铸件各设置了两道内浇口, 间隔 180° , 可以避免多道内浇口铸件局部过热,

整个铸件温度分布不均匀而导致的材质均匀性差和补缩不良的问题。浇注系统各截面积: 内浇道的总截面积约为 $1\ 600\ \text{mm}^2$, 直浇道截面积约为 $1\ 963\ \text{mm}^2$ (直浇道最小直径为50 mm), 三个横浇道总截面积约为 $2\ 250\ \text{mm}^2$, 浇注系统各截面的面积之比为^[6]: $\sum A_{\text{直}} : \sum A_{\text{横}} : \sum A_{\text{内}} = 1\ 963 : 2\ 250 : 1\ 600 = 1.2 : 1.4 : 1$ 。

2.4.2 冒口设计

轮盘最大热节位于轮毂底部, 依据铸造工艺设计原则, 冒口直径为铸件壁厚或热节圆直径的2.2~3.0倍^[7], 采用顶冒口和侧冒口相结合对铸件进行补缩, 在铸件轮毂顶部设计置直径为88 mm、高88 mm的顶冒口, 以补缩大热节部位; 侧冒口为直径50 mm、高

50 mm, 侧冒口与内浇口相连, 铁液由侧冒口颈进入轮缘, 侧冒口主要对轮缘进行补缩。轮盘浇冒系统设计如图4所示。



(a) 正面 (b) 背面

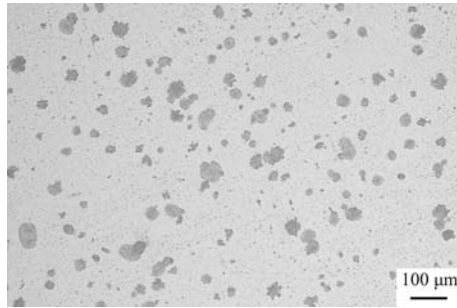
图4 铸件在砂箱中位置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of casting position in sand box

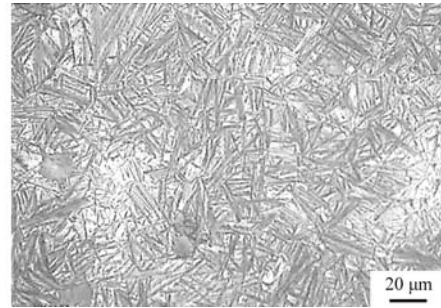
3 生产验证

3.1 熔炼和浇注工艺

采用1 t中频电炉熔炼金属液, 化学成分控制范围为(质量分数, %): 3.30~3.80 C、2.0~2.8 Si、0.20%~0.40 Mn、 ≤ 0.05 P、 ≤ 0.03 S、0.03~0.06 Mg、0.01~0.04 RE、 ≤ 0.3 Mo、 ≤ 0.8 Cu。包内冲入法球化处理, 稀土镁球化剂加入量为1.2%; 采用75SiFe孕育剂中间包和浇包内二次孕育, 加入量各为0.2%~0.25%。出炉温度控制在1 550 $^{\circ}$ C左右^[8-9], 由于轮盘辐板处壁厚较薄, 浇注温度控制在1 360~1 400 $^{\circ}$ C。



(a) 腐蚀前



(b) 腐蚀后

图6 铸件等温淬火后金相图

Fig. 6 Metallographic diagram of the austempered casting

表1 铸铁的化学成分

Table 1 Chemical composition of cast iron

检测项目	C	Si	Mn	S	P	Mg	RE	Mo	Cu	$w_B/\%$
目标值	3.4~3.8	2.3~2.8	0.2~0.4	≤ 0.03	≤ 0.05	0.03~0.06	0.01~0.04	≤ 0.3	≤ 0.8	
实测值	3.56, 3.56	2.42, 2.61	0.28, 0.28	0.015, 0.015	0.035, 0.035	0.035, 0.035	0.011, 0.011	0.18, 0.10	0.65, 0.60	

表2 试块的金相组织

Table 2 Metallographic structure of the test block

检测项目	石墨大小	球化率/%	基体组织
目标值	5~7	≥ 85	奥铁体
实测值	6, 6	92, 93	奥铁体+奥氏体, 奥铁体+奥氏体

3.2 热处理工艺

由于轮盘材质技术标准EN-GJS-HB300, 抗拉强度 ≥ 800 MPa, HB硬度245~335, 强度和硬度要求高。采用等温淬火工艺热处理, 900 $^{\circ}$ C $\times 2$ h奥氏体化, 然后在硝酸盐中等温淬火处理(390 $^{\circ}$ C $\times 1$ h)^[10]。

3.3 材质检测结果

按照上述铸造工艺方案进行了轮盘铸件批量试生产, 铸件表面未发现明显的缩孔缩松、气孔、夹渣和冷隔等铸造缺陷^[11], 图5为试生产的铸件实物, 图6为试制铸件的金相组织图。化学成分、金相组织和力学性能等检测结果如表1-3所示, 材质符合客户技术



图5 等温淬火的轮盘铸件

Fig. 5 The austempered wheel disc castings

表3 附铸试块的力学性能
Table 3 Mechanical properties of the attached cast test block

检测项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	冲击韧性/(J·cm ⁻²)	布氏硬度HB
目标值	≥900 (≥800*)	≥600 (≥480*)	≥8	≥100	245~300 (245~300*)
实测值	1 060, 978	670, 645	11.4, 8.2	128, 127	275, 269

注：* 为欧标牌号值，其他参数为客户要求（与标准值不同）。

要求。

4 结论

(1) 采用半封闭式浇注系统，设置过滤网和顶、侧冒口等措施，金属液充型平稳，有效防止了铸件中缩松缩孔、夹渣和气孔等缺陷。

(2) 采用稀土镁球化剂包内冲入法球化处理，中间包和浇包内二次孕育，控制浇注温度，铸件经等温淬火热处理，生产的铸件材质性能满足客户技术标准。

(3) 按照此设计的铸造工艺生产的铸件经后续机加工，尺寸形状满足图纸要求，实现了批量生产。

参考文献:

- [1] 纪云玲, 王洪刚. 轮盘类铸铁件铸造工艺[J]. 金属加工(热加工), 2013(1): 80-82.
- [2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 第5卷[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] 田永维, 陈晓龙, 李骥, 等. 某大型燃气轮机机体铸造工艺设计[J]. 热加工工艺, 2021, 50(23): 83-85.
- [4] 王世锋, 杨晋娜, 雷翠平, 等. 厚重球墨铸铁本台体铸件树脂砂实型铸造工艺探索[J]. 铸造, 2020, 69(9): 938-942.
- [5] 董文正, 林启权, 李彦涛, 等. 大型铝合金U型框架复合铸造工艺设计[J]. 特种铸造及有色合金, 2011, 31(10): 946-949.
- [6] 刘瑞玲, 范金辉. 铸造实用数据速查手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [7] 李弘英, 赵成志. 铸造工艺设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [8] 肖恭林, 穆彦青. 一种复杂薄壁低温球铁齿轮箱体铸造工艺研究[J]. 铸造, 2022, 71(10): 1281-1284.
- [9] 冯智龙, 邓晓金, 邵鄞龙. 球墨铸铁齿轮箱体铸造工艺设计[J]. 热加工工艺, 2017, 46(15): 116-117.
- [10] 韩非, 徐锦锋, 闫启栋等. 等温淬火球墨铸铁精细结构分析[J]. 铸造, 2020, 69(8): 808-815.
- [11] 马艳东, 李松杰, 周正寿, 等. 高压油缸球墨铸铁端盖的铸造工艺优化与试制[J]. 铸造, 2022, 71(11): 1422-1426.

Trial Production of High Strength and Toughness Ductile Iron Wheel Disc Casting

GU Yi-kang¹, KANG Jin-hui², LI Ping¹, LI Zhao-xia³

(1. School of Material Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, Henan, China; 2. Department of Mechanical Engineering, Zhumadian Technician College, Zhumadian 463000, Henan, China; 3. Jiaozuo Gude United Machinery Manufacturing Co., Ltd., Jiaozuo 454150, Henan, China)

Abstract:

According to the structural characteristics of ductile iron wheel disc casting, the casting process was designed. The top risers and hot side risers were combined to realize sequential solidification and effectively feed the casting. According to the technical requirements of materials, the melting and pouring process and heat treatment process were studied. The trial production results show that the wheel disc castings by the designed casting process and heat treatment process have no defects such as shrinkage, dispersed shrinkage, slag inclusion and porosity, and the material properties meet the customer's requirements.

Key words:

ductile iron; wheel disc; casting process; austempering heat treatment