

某机床球墨铸铁台架铸造工艺分析及优化

邱国强¹, 丁旭², 袁庆霓¹, 龚明均², 王永红³, 方启俊³, 马飞³

(1. 贵州大学 现代制造技术教育部重点实验室, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学 机械工程学院, 贵州贵阳 550025; 3. 贵阳险峰机床有限责任公司, 贵州贵阳 550025)

摘要: 某机床球墨铸铁台架采用呋喃树脂自硬砂手工造型和阶梯浇注系统成形。原工艺采用冒口对铸件顶部厚大轴孔支撑架处补缩, 但实际生产过程中发现冒口根部有轻微缩松, 导致铸件不合格。经过多种方案分析及数值模拟, 在其余铸造参数不变条件下, 尝试无冒口铸造工艺: 把原冒口改成楔形出气口, 内浇道厚度减薄, 在轴孔处附近设置外冷铁或内冷铁以提高轴孔处组织性能, 同时, 设计了轴孔铸出或后续机加工几种方案, 进行对比生产, 发现均可获得合格铸件。生产实践证明了台架铸件采用无冒口铸造工艺的可行性, 简化了造型工艺, 提高了铸件工艺出品率。

关键词: 球墨铸铁; 台架; 冒口

厚大球墨铸铁件凝固时间长, 石墨球大且少, 产生缩孔、缩松的倾向比灰铸铁件大得多^[1]。现行厚大球墨铸铁件砂型铸造生产中, 一般采用传统的大冒口补缩以及无冒口铸造两种工艺。采用冒口补缩方式生产球墨铸铁件操作较麻烦、浪费材料, 在凝固过程石墨化膨胀时, 很容易使型腔铁液反馈给冒口, 使铸件产生缩孔、缩松缺陷^[2]。本研究针对某大型球墨铸铁机床台架件进行铸造生产实践、工艺方案优化, 确定采用无冒口铸造可生产出合格铸件, 且工艺简单, 节约成本。

1 铸件结构

机床台架材质为QT400-18, 外廓尺寸2 230 mm × 1 750 mm × 550 mm, 重量约2 483 kg; 内部多空腔结构, 形状较为复杂; 最大壁厚80 mm, 最小壁厚20 mm, 壁厚差较大, 属于中大型复杂铸件。铸件顶部有直径 $\Phi 70$ mm的厚大孔支撑架, 其铸造组织性能要求较高。用NX12.0软件绘制了台架三维几何实体, 如图1所示。

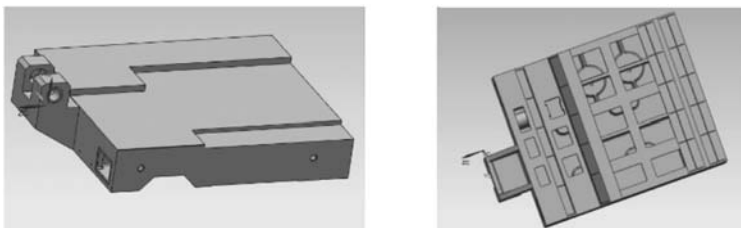


图1 机床台架的三维造型

Fig.1 Three-dimensional modelling of the machine tool stand

2 铸造工艺设计

2.1 铸造工艺方案

该铸件为单件小批量生产, 依据EN 12890质量级别为H2, 精度等级DIN ISO 8062-CT12; 铸件上的工作孔采用后续加工成形; 台架主要工作面表面粗糙度最低

作者简介:

邱国强(2001-), 男, 硕士生, 主要研究方向为材料成形技术。电话: 18992672703, E-mail: 2215908463@qq.com

通讯作者:

丁旭, 男, 教授, 硕士生导师。电话: 18984842193, E-mail: 871363654@qq.com

中图分类号: TG255

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)11-1588-04

基金项目:

贵州大学“SRT计划”项目(贵大srt字(2022)194号)。

收稿日期:

2023-07-18 收到初稿,
2023-12-10 收到修订稿。

应达到 $Ra12.5\ \mu\text{m}$ ，须通过切削加工达到。铸件内外质量要求较高，不允许有夹砂、缩孔缩松等缺陷。通过各个方案的对比，选择轴承孔支撑架及大平面朝上的浇注位置以方便造型，采用呋喃树脂自硬砂造型，采用废钢加增碳剂作为主要原料，原铁液中的各项元素成分控制如下： $3.6\%\sim 4.0\%\ \text{C}$ 、 $1.3\%\sim 1.6\%\ \text{Si}$ 、 $\text{Mn}\leq 0.5\%$ 、 $\text{S}\leq 0.03\%$ 、 $\text{P}\leq 0.04\%$ ；球化处理后铁液各项元素成分控制如下： $3.5\%\sim 3.9\%\ \text{C}$ 、 $2.2\%\sim 2.5\%\ \text{Si}$ 、 $\text{Mn}\leq 0.45\%$ 、 $\text{S}\leq 0.02\%$ 、 $\text{P}\leq 0.04\%$ ，残留 $\text{Mg}\leq 0.05\%$ ；出炉温度约 $1\ 450\ ^\circ\text{C}$ ，浇注温度约在 $1\ 310\sim 1\ 330\ ^\circ\text{C}$ 。采用外购的含钙稀土镁合金作为球化剂，加入量约为铁液的 1.4% 。砂型外套金属砂箱，螺栓紧固。

2.2 浇注系统设计

由于该球墨铸铁件为中大型件、壁厚差过大、内部结构较复杂，所以采用如图2所示的开放式的具有多个内浇道的阶梯式浇注系统，以便铁液更加均衡充填及凝固，并有利于在铸件快要充填完成以及最后凝固时进行补充浇注。其中内浇道截面尺寸及形状如图3所示，截面采用扁平矩形设计来确保熔体均匀填充，减少流动过程中的阻力，从而提高铸件的质量。

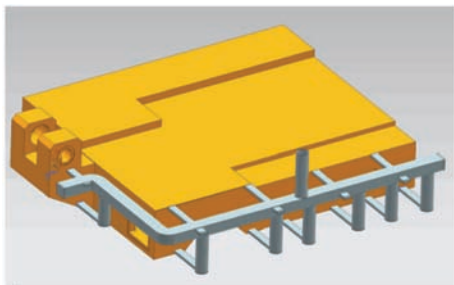


图2 浇注系统示意图
Fig. 2 Gating system diagram

3 铸件凝固过程数值模拟与质量分析

球墨铸铁件在凝固过程中，因液态收缩和凝固收缩，在铸件的热节或最后凝固部位易出现缩孔和缩松^[1-2]。采用AnyCasting软件计算铸件凝固过程温度场变化，发现最后凝固部位是支撑架处顶部厚大轴孔附近，如图4所示，推断此处容易产生缩松缩孔缺陷。为此，尝试在其上方设置两个大冒口进行补缩。但生产实践证明在冒口根部与铸件交界处易出现缩松缺陷，如图5所示；同时经过软件模拟也发现会出现冒口会先于铸件凝固的情况，如图6所示，说明达不到补缩效果，所以加设冒口的方法不可行，需要对铸造方案进行进一步改进。

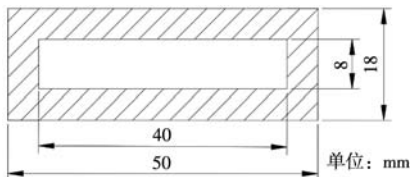


图3 内浇口尺寸及形状示意图
Fig. 3 Schematic diagram of gate size and shape

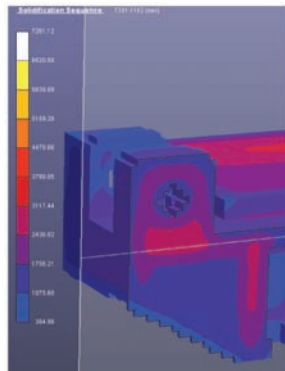


图4 无冒口铸件的凝固时间场
Fig. 4 Solidification time field of riser free castings



图5 冒口根部出现的缩松
Fig. 5 Shrinkage porosities appeared at the riser root

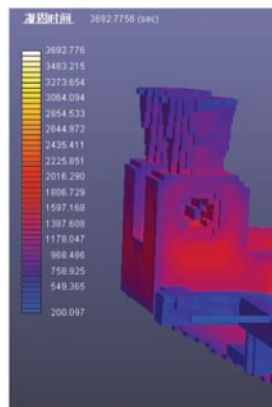


图6 有冒口铸件的凝固顺序图
Fig. 6 Solidification sequence diagram of the casting with risers

参考相关球墨铸铁无冒口铸造工艺^[2-5]，并考虑到球墨铸铁偏向糊状凝固的特征（冒口对糊状凝固铸件的补缩效果不好），结合数值模拟结果，尝试在最后

充满的两个支撑架两侧使用冷铁，顶部冒口改为扁楔形出气口，以及铸件大平面顶部设置多个扁楔形出气口，直浇道和底部的内浇道采用预埋陶瓷管，内浇道设计为厚度18 mm的扁矩形，以便其先于铸件凝固，并且采用原浇注参数进行浇注，铸件凝固数值模拟结果如图7及图8所示，显然内浇道和出气口先于铸件凝固。实践证明，采用此方案获得了合格铸件，如图9所示。其原理在于让铁液充满型腔初期由内浇道进行补缩，后期因薄的内浇口及出气口先于铸件凝固，铸件外表层结壳，封闭了型腔；加上树脂砂型的高强度以及砂箱的锁紧，使球墨铸铁凝固结晶过程中因析出石墨导致的石墨化膨胀一部分抵消了铁液的冷却结晶收缩，另一部分的膨胀又受到高强度树脂砂型的拘束，保证膨胀向内壁扩展，从而抵消液态和结晶收缩导致的缩松。当然，本工艺采用的多内浇道的浇注系统

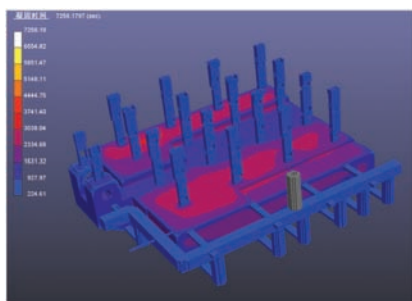


图7 有出气口铸件的凝固时间场
Fig. 7 Solidification time field of casting with vent holes

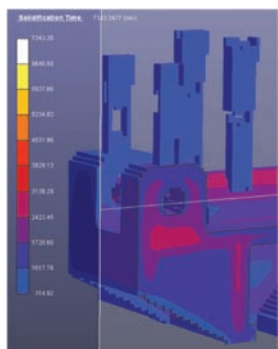


图8 有出气口铸件的轴承孔支撑架局部剖面凝固时间场
Fig. 8 Solidification time field of partial cross section of bearing platform of the casting with vent holes



图9 机床台架产品照片
Fig. 9 The machine tool stand product photo

(以便更均衡充填及凝固)和约1 320 ℃偏低的浇注温度(以便降低液态收缩)也是保证无冒口铸造质量的关键^[3, 5]。

同样的原理，如果在以上浇注条件都不变的情况下，在轴承孔支撑架两侧设置外冷铁后的数值模拟结果如图10所示，可以看出这样可以明显可以加快轴承孔支撑架的冷却速度，获得更好的轴承孔组织性能，还使整个铸件凝固更加均衡，更好满足球墨铸铁无冒口铸造条件。经过企业实践证明，铸件顶部轴承支承台两侧加外冷铁或内冷铁而轴承孔不铸出、留待后续机械加工的工艺方案，均可获得较好的铸件合格率，且造型方便，如图11和图12所示。

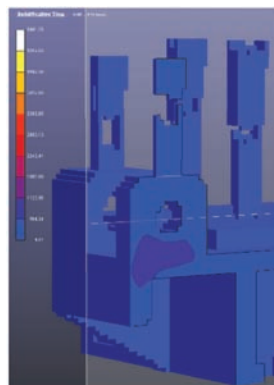


图10 有出气口加外冷铁铸件的轴承孔支撑架局部剖面凝固时间场
Fig. 10 The solidification time field of partial cross section of bearing platform of the casting with vent holes and external chills



图11 加设内冷铁的铸件轴承孔支撑架局部照片
Fig. 11 Photo of part of bearing platform of the casting with internal chill settings

综合上述数值模拟分析及生产实践，证明设置出气口和冷铁的非冒口铸造方案适用于球墨铸铁台架生产，且降低铸造生产成本、提高铸件工艺出品率。

4 结论

(1) 由于球墨铸铁偏向糊状凝固的特征，厚壁机



图12 加设外冷铁而孔不铸出的铸件轴承孔支撑架局部照片
Fig. 12 Photo of part of bearing platform of the casting with external chill settings but no hole cast out

参考文献:

- [1] 王再友. 铸造工艺设计及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [2] 陆文华. 铸造合金及其熔炼 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] 沈闯. 大型球墨铸铁平台的生产实践 [J]. 铸造, 2019 (4): 404-406.
- [4] 夏蓁. 球墨铸铁件无冒口铸造工艺研究 [J]. 铸造技术, 2017, 38 (7): 1753-1754.
- [5] 暴赵鸿, 刘建民, 郝宝云. 无冒口铸造工艺在某球铁铸件上的应用 [J]. 铸造设备与工艺, 2009 (4): 36-37.

床台架铸件采用冒口不易达到防止缩松的效果, 还导致铸件工艺出品率降低、造型复杂。

(2) 采用高强度树脂砂型及砂箱锁紧措施、较薄的内浇道厚度、轴承孔顶部冒口改为扁楔形出气口并在轴承孔附近设置适当冷铁、1 310~1 330 ℃浇注, 可以实现机床台架铸件较快充型和均衡凝固, 提高铸件成品率, 降低生产成本。

(3) 采用无冒口铸造, 台架轴承孔铸出并在两侧设置外冷铁或不铸出并在两侧设置外冷铁, 均可获得合格铸件。

(4) 台架轴承孔不铸出, 不仅方便造型及在此处设置内外冷铁, 而且机加工后轴孔质量得到提高。

Analysis and Optimization of the Casting Process for a Ductile Iron Stand of Machine Tool

QIU Guo-qiang¹, DING Xu², YUAN Qing-ni¹, GONG Ming-jun², WANG Yong-hong³, FANG Qi-jun³, MA Fei³
(1. Key Laboratory of Advanced Manufacturing Technology, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 2. School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 3. Guiyang Xianfeng Machine Tool Factory, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract:

A ductile iron stand of machine tool is formed by using of manual molding of furan resin-bonded self-hardening sand and step gating system. In the original process, two risers were used to feed the shrinkages of support frame positions of the thick shaft holes at the top of the casting, but in actual production, it was found that there were slight shrinkage porosities at the roots of the risers, resulting in the casting being unqualified. After analyses of multiple schemes and numerical simulations, under the condition of keeping the other casting parameters unchanged, a riser-free casting process was attempted: the original risers were changed to wedge-shaped vent holes, the thicknesses of ingates were reduced, and external or internal chills were set near the shaft holes in order to improve the microstructure and performance of the shaft holes. At the same time, several schemes of the shaft holes being cast out or subsequently machined out were also designed and compared in production, and it was found that qualified castings could be obtained. Production practice had proven the feasibility of application of riser-free casting process in the stand castings, the molding process was simplified and the overall yield of casting was increased.

Key words:

ductile iron; stand; riser