

# 地铁用定位转臂铸造工艺设计

李 伟, 杜天彬, 曹健峰, 曹 松, 姜伟航, 吕昌略

(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213011)

**摘要:** 地铁用定位转臂其关键部位的内部质量要求达到ASTM E446 II级, 内部质量要求较高。在铸造工艺设计过程中, 采用MAGMA 模拟软件分析了流场、温度场以及凝固过程, 并进一步优化了铸造工艺。采用酯硬化水玻璃石英砂造型, 中频感应电炉复合脱氧熔炼铁液浇注铸件。实际生产应用表明: 优化后的铸造工艺具有较好的补缩效果, 可以有效确保定位转臂的内部及外部质量; 铸件表面粗糙度可达到 $R_a=50 \mu\text{m}$ , II、IV型非金属夹杂物控制在I级范围以内, 达到产品的技术要求。

**关键词:** 定位转臂; 模拟分析; 铸造工艺

随着城市化进程的加快, 城市轨道交通的发展也随之加快, 地铁、有轨电车在大众型城市快速发展。定位转臂是地铁车辆的重要走行部件, 是车辆轮对与转向架之间的连接部分, 其将轴箱与定位转臂结合组成轴箱转臂一体结构, 该定位转臂一端通过轴箱弹簧与构架安装座相连, 实现垂向定位, 定位转臂的另一端则通过橡胶关节与构架相连, 实现纵向和横向定位, 通过与定位转臂连接的轴箱弹簧及橡胶关节来传递轮对与构架之间的纵向、横向和垂向多个方向的作用力。地铁车辆最高运行速度达到80 km/h以上且频繁的进出站, 定位转臂的工作环境恶劣, 其质量性能的好坏直接影响地铁车辆的运行安全。

## 1 铸件技术要求及结构特点

### 1.1 技术要求

定位转臂铸件材质为G20Mn5, 由于需要满足高寒地区的使用要求, 铸件本体性能检测要求达到EN 10293中调质热处理后的性能指标,  $-45^\circ\text{C}$ 低温冲击达到27 J以上。产品需要进行射线检测, 关键部位的内部质量达到ASTM E446的II级或优于II级, 其他部位达到III级或优于III级。铸件表面进行湿法荧光磁粉探伤, 需达到GB/T 9444的二级要求。

### 1.2 结构特点

该定位转臂属于薄壁铸件, 铸件加工部位较多且加工面不允许存在目视缺陷。定位转臂结构如图1所示, 零件净重60 kg, 主体壁厚15 mm, 整体呈对称结构, 其下方具有半开式的轴承座, 该轴承座具有半开的轴承孔和设置在轴承座开口处的四个连接安装座, 四个连接安装座上均设有安装孔, 而弹簧孔座设置在轴承座的上部, 该弹簧孔座中心部位有一处弹簧定位凸台。定位转臂另一端的转臂节点孔通过两个对称竖直的竖加强板和连接在竖加强板之间的横板构成, 定位转臂前部具有前端筋板。因此, 在铸件凝固过程中, 如果在这些配合加工面上出现砂眼、气孔、缩孔等缺陷, 都会影响其使用寿命。另外定位转臂需要承受变化中的纵向、横向以及垂向作用力, 受力复杂。因此, 要求定位转臂具有较高的内部质量。

## 2 工艺方案设计与模拟分析

### 2.1 铸造工艺设计

由于定位转臂沿弹簧孔座中心截面上下对称分布, 若以对称中心线作为分型

作者简介:

李 伟 (1983-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造工艺技术方面的研究工作。  
E-mail: ycli18@163.com

中图分类号: TG242  
文献标识码: B  
文章编号: 1001-4977 (2019) 06-0640-04

收稿日期:

2018-11-12 收到初稿,  
2019-03-01 收到修订稿。

面, 轴承孔及转臂节点孔正好呈垂直分布便于安放冒口和布置砂芯。因此, 选择沿对称中心线作为分型面, 符合分型面选择原则。为了使铸件组织致密并达到射线检测要求, 在上型铸件的转臂节点孔的上部、轴承孔的上部以及弹簧孔座边缘最高点分别设有两个保温冒口。轴承孔处以弹簧定位座处为最大热节, 按滚圆法设置冒口补贴, 同时对轴承孔和弹簧定位座进行补缩。转臂节点孔内呈锥形设置冒口补贴对该部位补缩。在第一侧芯块弹簧孔座的轴座上放置外冷铁, 同时在上型和下型轴承座的连接座处分别放置外冷铁, 工艺方案见图2。浇注系统设置在轴承孔砂芯上, 横浇道在分型面上, 并从轴承孔冒口补贴处进入。

## 2.2 铸造工艺模拟

为缩短产品开发周期, 确保铸件内部质量, 采用MAGMA铸造凝固模拟软件对以上工艺进行了流场、温度场以及凝固过程的模拟分析, 发现钢液充型初期很通畅, 但后期在上型两个连接安装座部位存在一定程度的憋气现象。通过porosity判据发现, 定位转臂轴承孔两边连接安装座部位均有缩孔缺陷(图3), 其他部位模拟结果良好。

## 2.3 工艺优化

针对模拟结果, 进行工艺优化(图4)。在安装座部位搭子的顶部放置出气棒以缓解憋气现象; 轴承孔左侧的安装座部位相比右侧要厚, 因此将轴承孔内的补贴增大, 适当外移, 以加大左侧安装座部位的补缩通道, 利于其补缩; 安装座搭子处的缩孔缩松缺陷, 由于不方便设置冒口, 因此考虑在其背面再增加一块冷铁以加强激冷效果。进行上述工艺调整后, 再次进行模拟, porosity判据如图5所示, 可以看到, 安装座搭子处的缺陷已经有很大程度的减轻, 左侧上部的缺陷已经完全消除, 其余搭子处的缺陷虽然仍有存在, 但已经在可以接受的许可范围之内, 工艺改进措施有效。优化后的铸件工艺出品率为56.6%。

## 3 产品试验及工艺验证

按照优化后的方案一型一件的工艺布局进行模具设计与制作, 模具尺寸及配合性进行检查, 无误后投入造型生产。

### 3.1 造型

采用酯硬化水玻璃石英砂造型制芯, 同时为了防止转角处的型砂烧结导致的粘砂, 在拐角处敷贴了铬矿砂。水玻璃加入量控制在2.3%~3.0%, 有机酯加入量占水玻璃量的15%~18%, 自硬化30~40 min后起模。砂芯及铸型在起模后进行120~160℃预表干

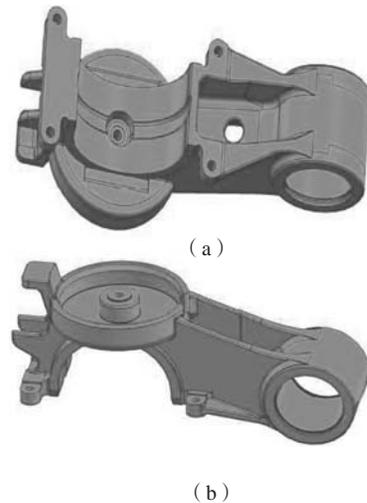


图1 定位转臂产品图

Fig. 1 3D positioning rotary arm drawing

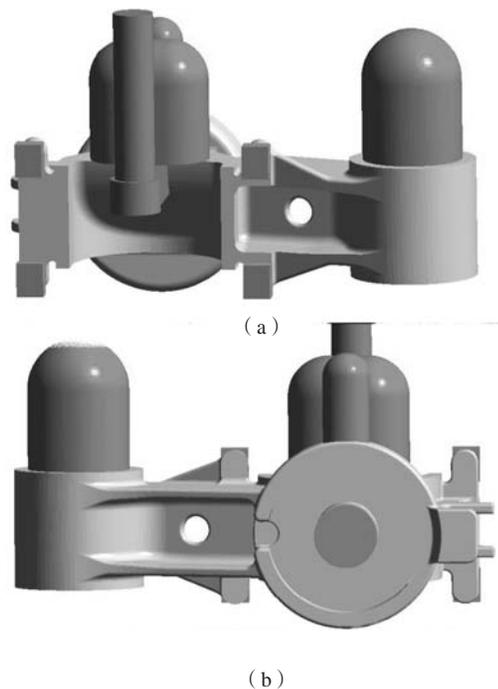


图2 初始工艺方案

Fig. 2 Initial casting process plan



图3 初始工艺的porosity判据

Fig. 3 Porosity criterion for initial process plan

20 min, 表干后对铸型、砂芯均刷涂醇基锆英粉涂料2遍, 第一遍涂料波美度控制在 $65 \pm 3$ , 点火干燥后进行第二遍刷涂, 第二遍涂料波美度控制在 $60 \pm 2$ 。在清理完砂型表面的浮砂及涂料淤积后下芯, 下芯后上下铸型分别进表干炉实施终表干, 温度控制在 $150 \sim 180 \text{ }^\circ\text{C}$ 表干30 min左右, 并出炉合箱浇注, 造型及下芯见图6。

考虑到水玻璃砂易吸湿的特点, 合箱后需在8 h内完成浇注作业。为避免砂型吸湿, 也可以在浇注前采用热风机通过浇口对铸型鼓吹热风进行干燥。

### 3.2 熔炼浇注

采用中频感应电炉进行熔炼, 同时实施炉底吹氩及稀土+铝块的复合脱氧工艺提升钢液的纯净度, 使用漏包浇注。由于定位转臂铸钢件平均壁厚为28 mm, 为确保铸件外观质量光洁, 浇注速度控制在20~28 s, 浇注温度控制在 $1565 \sim 1585 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 3.3 后处理

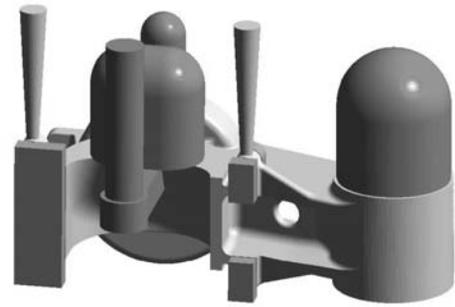
浇注6 h后开箱震动清砂并切割浇口、冒口, 然后进行清理打磨处理。为获得优良的力学性能, 铸件在调制热处理前先进行一次 $920 \text{ }^\circ\text{C}$ 正火预处理, 对铸件组织进行细化, 消除铸态组织的同时改善加工性能。对铸件进行粗加工后实施调质热处理, 调质热处理工艺采用水冷介质, 为获得更好的低温冲击功, 在调质处理的回火阶段也采用水冷工艺。铸件经磁粉探伤、射线等相关检测, 结果满足技术要求。

### 3.4 试验结果

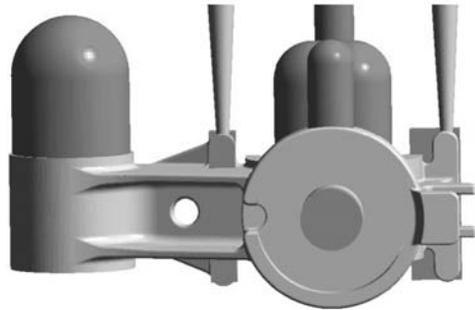
(1) 对定位转臂铸件进行X射线检测, 整体铸件均为II级及以上, I级部位可达到85%以上。

(2) 铸件轮廓清晰, 毛坯面平整光洁, 经抛丸处理后铸件表面粗糙度可达到 $R_a=50 \text{ } \mu\text{m}$ , 铸件经加工后加工面无目视缺陷。铸件外观质量见图7。

(3) 铸件非金属夹杂物依照TB/T 2451 - 1993



(a)



(b)

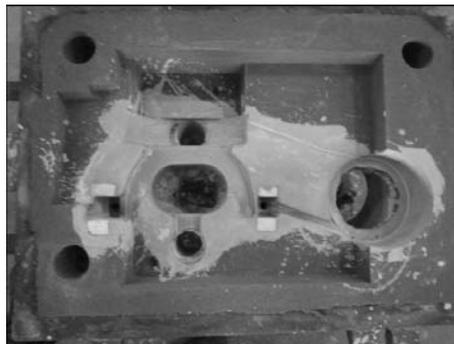
图4 优化的工艺方案

Fig. 4 Optimized casting process



图5 优化工艺的porosity 判据

Fig. 5 Porosity criterion for optimized process



(a) 上型



(b) 下型下芯

图6 定位转臂铸件造型

Fig. 6 Cope and drag for positioning arm casting

《铸钢中非金属夹杂物金相检验》进行检测。检测结果显示,通过复合脱氧工艺后铸件中条状的MnS(II型)夹杂物和簇群状的 $Al_2O_3$ (IV型)夹杂物得到很好的控制,钢中夹杂物显微图像见图8。统计结果表明铸件II、IV型非金属夹杂物控制在1级以下。

(4) 铸件调质热处理后,按图纸规定的部位实物取样,按照GB/T 229—2007进行冲击试验检测,检测结果满足标准要求,  $-45\text{ }^\circ\text{C}$ 低温冲击平均值大于32 J,较27 J标准值提高了18.5%。



图7 定位转臂铸件实物  
Fig. 7 Positioning arm casting

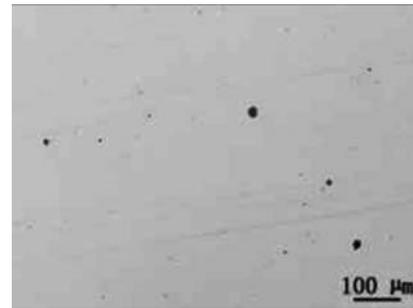


图8 非金属夹杂物形态  
Fig. 8 Morphology of non-metallic inclusions

## 4 结束语

采用MAGMA软件模拟分析了定位转臂的流场、温度场以及凝固过程,优化了铸造工艺,产品一次性试制成功。通过MAGMA软件的模拟,不仅可以准确的反映出铸件充型及凝固过程中的各种变化,而且可以预测实际设计中可能出现的问题,为设计工艺的优化提供方向,极大地提高技术人员的工作效率和准确性,缩短了开发周期,降低了开发成本。同时在生产操作环节,造型工序涂料及表干工艺的细化,熔炼过程的炉底吹氩及复合脱氧工艺的実施均为铸件质量的保证奠定了基础。

### 参考文献:

- [1] 黄渊, 税国红, 高翌. C11下缸体铸造工艺分析及断芯解决措施 [J]. 铸造, 2017, 66(12): 1337-1339.
- [2] 李伟, 姜伟航, 曹松, 等. 中频感应电炉脱氧工艺对非金属夹杂物的影响 [J]. 铸造, 2016, 65(2): 172-174.
- [3] 沈伯山. 不同预备热处理对淬火工艺的影响 [J]. 机械工人(热处理), 2001(3): 46-48.

## Casting Process Design of Positioning Arm for Metro

LI Wei, DU Tian-bin, CAO Jian-feng, CAO Song, JIANG Wei-hang, LÜ Chang-lue  
(CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China)

### Abstract:

The positioning rotary arms for the metro have extremely high demands for internal quality, especially in the key locations, NDT must meet the requirements of ASTM E446 II. In the casting process design, the flow field, temperature field and solidification process of casting were simulated and analyzed by MAGMA software, and then the casting process was optimized. The castings were produced by the ester hardening sodium silicate quartz sand molding process and the medium frequency induction furnace combined deoxidization melting process. The application in actual production shows that the optimized casting process has a good feeding effect that can effectively ensure the internal quality of the positioning arm. The surface roughness of castings can reach Ra50, and the type II and IV non-metallic inclusions of castings can be controlled within the first level range. All the testing results meet the technical requirements of the products.

### Key words:

positioning arm; simulation analysis; casting process