

铁路用 F 型冲击座铸造工艺设计及优化

赵红乐¹, 张 纬¹, 王智鹏¹, 孟少峰², 张文魁¹, 李志勇¹, 惠亚兴³, 高立民³, 魏俊良¹

(1. 晋西车轴股份有限公司, 晋西装备制造有限责任公司, 山西太原 030024; 2. 晋西车轴股份有限公司技术开发部, 山西太原 030024; 3. 晋西工业集团有限责任公司, 山西太原 030024)

摘要: 根据F型冲击座产品的结构特点和技术要求, 对产品的铸造工艺进行了设计, 并通过华铸CAE铸造模拟软件进行了充型过程和凝固过程的模拟分析, 依据模拟分析结果对工艺方案进行调整, 确定了较为优选的方案。最后通过生产验证和工艺优化生产出了符合要求的产品。通过铸造模拟软件的应用大大缩短了产品的开发周期, 提高了开发效率。

关键词: F型冲击座; 工艺设计; 数值模拟

F型冲击座铸件头部为片体结构, 尾部为封闭的框架结构, 见图1。毛坯重约100 kg, 最大壁厚77.3 mm, 最小壁厚9.7 mm, 主体壁厚12.7 mm。壁厚较厚大位置为尾部上半部分框架(图1中a)和头部最外侧部分(图1中b)。尾部下端为薄壁的壳体, 壳体上分布着工艺孔和镂空部分, 会影响金属液的充型过程。头部两平行部分仅靠尾部连接, 凝固过程易发生变形。

F型冲击座材质为B+级钢, 铸件化学成分要求见表1, 正火态下使用。作为铁路车辆配件, 产品质量要求严格。铸件不允许存在裂纹和明显的缩孔、缩松等缺陷。产品密实度要求严格, 样件需按照解剖图进行解剖, 解剖位置见图2, 断面达到美国铁路协会AAR M211标准规定的断面缺陷严重等级小于等于2级的要求。另外铸件尺寸要求严格, 主要尺寸均有相应通规、止规样板进行检查。

1 铸件工艺设计

1.1 生产条件

采用碱酚醛树脂砂造型, 电弧炉加LF精炼炉的方式熔炼合金, 前期试制采用手工造型和制芯操作, 造型过程人工紧实砂型、砂芯, 保证砂型、砂芯紧实度。

1.2 分型面的选取

F型冲击座尾部壳体内部要安装弹簧、车钩支撑座等部件, 同时该部分为薄壁结构, 为保证其充型良好且凝固过程得到良好的补缩, 优先考虑将其放到铸件下部。同时依据产品各主要尺寸的要求, 方便造型过程, 降低操作过程难度, 最终选择尾部壳体向下的方式, 以产品侧壁筋板中心为分型面。这样设计可以利用厚大的尾部框架和头部最外侧部分作为产品的主要补缩通道, 便于产品各部分凝固过程的钢液补充。

1.3 砂芯设计

依据分型面的选择, 设置F型冲击座的砂芯, 如图3。考虑到砂芯制作的难度和下芯操作的方便, 将内腔分为两部分(1#和2#)。1#砂芯为尾部壳体部分, 利用工艺孔在底部设置两个芯头, 侧面设置两个圆形芯头, 利用芯头起到支撑和定位的作用。1#砂芯上部放置2#砂芯, 1#砂芯对2#砂芯起到一定支撑作用, 2#砂芯保证1#砂芯不发生漂芯现象。2#砂芯较重, 在两端分别设置芯头, 作为定位和砂芯支撑固定部分, 保证下芯精度和铸件尺寸。另外在砂芯内部预先埋设了起吊钩用于下芯过程的起吊操作。3#砂芯的设置是为了保证分型面以外的侧面挡耳的脱模而设置。4#砂芯为铸件标识芯。

作者简介:

赵红乐(1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为铸造工艺设计及热处理。电话: 18803418012, E-mail: zhaohongle1985@126.com

中图分类号: TG269

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)09-0991-04

收稿日期:

2020-04-08 收到初稿,
2020-05-15 收到修订稿。

1.4 浇注系统和冒口设计

F型冲击座整体设计原则为壁厚部分同时凝固，壁厚部分顺序凝固，以保证铸件密实度符合要求。内浇口位置选取在分型面上靠近铸件厚大部分，一方面使得浇注系统结构简单，另一方面还可以通过内浇口对铸件进行补缩。在铸件上部厚大部位放置冒口，如图4中a、b。模数 $M_a=1.5\text{ cm}$ 、 $M_b=2.4\text{ cm}$ ，取 $M_{\text{冒}} \geq 1.2 M_{\text{铸}}$ 。冒口设置为明冒口用于气体的排出，由式(1)计算冒口总体积^[1]。

$$V_{\text{件}} = \frac{14 - \varepsilon}{\varepsilon} V_{\text{冒}} \quad (1)$$

式中： ε 为收缩率，铸钢一般取 $\varepsilon=5\%$ 。由三维模型测得铸件体积12 L，计算得出冒口总体积最小值为6.6 L。

F型冲击座与其他产品采用20 t底漏包混浇，在浇注末期浇注F型冲击座。底漏包铸口 $\Phi 40\text{ mm}$ ，对应直浇道 $\Phi 50\text{ mm}$ 。铸件采用开放式浇注系统设计， $A_{\text{直}}:A_{\text{横}}:A_{\text{内}}=1:1.4:1.6$ ，从而计算出浇注系统各部分截面积。起初位置选择有两种方案。方案一，内浇口开设在尾部厚大部分中间位置，铸件设置6个冒口，铸件顶部4个，内浇口2个，见图4。该方案通过冒口和内浇口同时对尾部厚大部分进行补缩，能够保证铸件凝固过程金属液的补充。同时头部厚大部分通过顶部冒口和底部冷铁的配合，实现凝固过程的顺序以及金属液的补充。方案二，内浇口开设在头部厚大部分中间位置，尾部厚大部分连接着下端的壳体，单纯通过冒口进行钢液的补充，头部厚大部分通过顶部冒口和内浇口进行钢液的补充。经过模拟分析，发现方案二尾部厚大部分缩孔缩松倾向明显大于方案一，同时考虑采用方案二时铸件凝固过程中浇道会对头部片体间距尺寸产生影响。综上，浇注系统按照方案一设置。

1.5 冷铁和铬矿砂的设计

冷铁的蓄热系数大，具有激冷作用，能加快贴放部位的凝固速度，同时冷铁可以增加冒口区长度，从而提高冒口的补缩效果^[1-3]。结合浇注系统和冒口的设计，在铸件冒口远端和铸件筋板相交的圆弧部分设置冷铁，在壳体内部四周筋根部设置10 mm厚铬矿砂。

1.6 工艺筋的设计

F型冲击座头部片体结构依靠尾部框架结构连接，在凝固过程会由于铸件收缩作用导致头部两片体间距

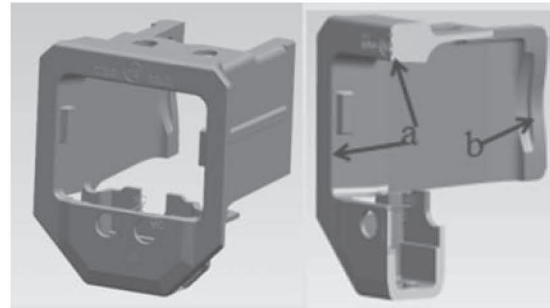


图1 产品三维图

Fig. 1 3D diagram of product

表1 铸件化学成分要求

Table 1 Chemical composition requirements of casting

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	$w_B/\%$
0.23 ~ 0.29	0.30 ~ 0.50	0.80 ~ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.30	0.30 ~ 0.50	0.30 ~ 0.40	

变大，为保证铸件不发生上述变形，在铸件头部位置设置了3条工艺筋，见图4。

2 铸造工艺模拟

铸造模拟软件可以对铸造的充型过程和凝固过程进行直观分析，对工艺设计提供帮助，加速产品的开发进度^[4-6]。运用华铸CAE铸造模拟软件对铸件充型凝固过程进行耦合分析，材质设定为铸钢，成分设置为铸件化学成分范围的中间值，铸型材质选择为树脂砂，浇注温度设定为1 570 °C，砂型初温设定为20 °C，砂芯温度设定为20 °C，浇注速度13.4 s。

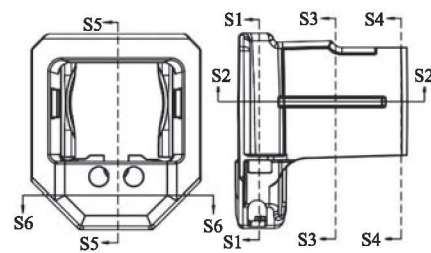


图2 解剖位置图

Fig. 2 Cross section for dissection inspection

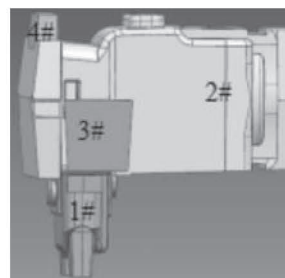


图3 砂芯图

Fig. 3 Sand cores of impact seat

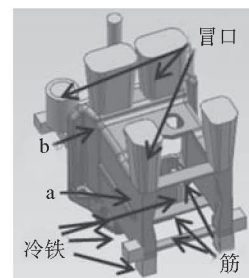


图4 铸造工艺图

Fig. 4 3D casting process drawing

2.1 充型过程模拟分析

F型冲击座的充型过程如图5所示。液流由浇道进入，首先充型最下部分的薄壁壳体部分，而后逐渐由下向上平稳充型。整个充型过程在开始充型壳体和充型头部过程中会发生一定的喷溅或紊流（图5c、d），但整体过程相对平稳。

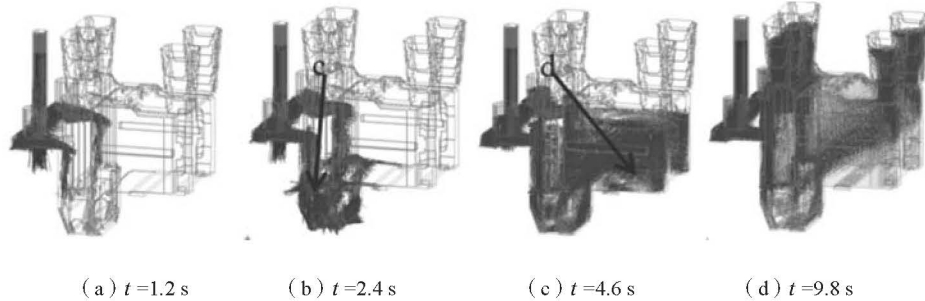


图5 充型过程模拟图

Fig. 5 Mold filling process simulation

2.2 凝固过程模拟

铸件凝固模拟结果见图6，铸件凝固的模拟结果和工艺设计初衷基本一致。铸件首先开始凝固的部分是设置冷铁的部分和铸件薄壁的边缘，薄壁部分液态收缩过程能够得到厚壁部分的补充，铸件薄壁部分同时凝固。随着凝固的进行，铸件厚壁部分开始凝固，并

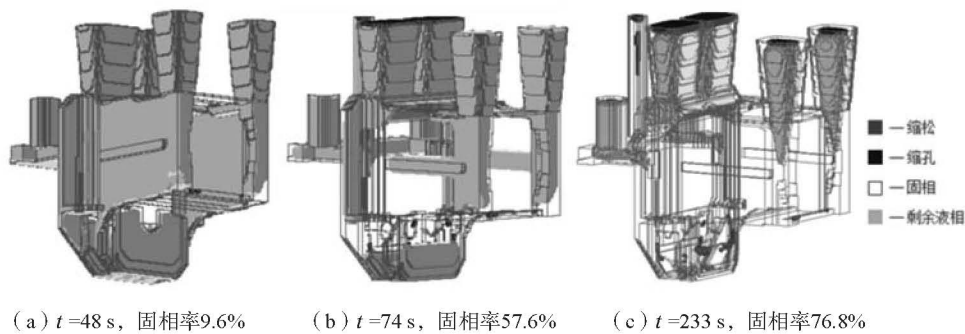


图6 凝固过程模拟图

Fig. 6 Solidification process simulation

且具有方向性，最后凝固的部分在冒口内，很好地保证了铸件关键位置的密度。

2.3 缩孔、缩松分析

图7为F型冲击座铸件缩孔、缩松分析图，由图可知，薄壁壳体侧壁位置、工艺筋处和浇冒口处有可能产生缩松、缩孔，薄壁壳体侧壁缩松呈弥散状分布，铸件厚大部位和筋板圆弧位置均未发生缩孔、缩松缺陷，从模拟结果上看该铸造工艺可以进行试生产。

3 生产验证及工艺优化

按照数值模拟的铸造工艺制造了相应的模具、芯盒，采用碱酚醛树脂砂工艺进行了造型、制芯，采用电弧炉和LF精炼炉熔炼钢液并进行了浇注。浇注温度 $1\ 570\sim 1\ 585\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，浇注过程 $5\sim 10\text{ s}$ 。浇注2 h以后开箱，开箱后切割浇冒口并去除毛边、多肉等，进行外观检查和磁粉探伤检查。清理完成后连同试棒一起进行热处理。铸件热处理方式为正火处理，装炉温度 $\leq 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，升温速度 $\leq 200\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ ，升温到 $650\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

保温1 h，升温到 $910\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温时间 $2.5\sim 3\text{ h}$ ，出炉风冷 $1\sim 1.5\text{ h}$ 。热处理完成后去除工艺筋，进行尺寸检查、磁粉探伤检查和超声波探伤检查，并按照产品解剖图进行产品的解剖。

经过检查发现工艺筋效果良好，工艺筋处尺寸符合设计要求；但是尾部壳体宽度方向发生明显的外凸，尺寸偏离较大。超声波检查发现产品部分位置存在缺陷，基本与模拟结果相一致。磁粉探伤发现铸

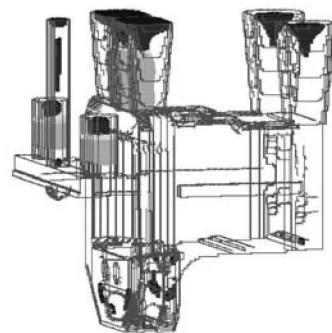


图7 铸件收缩缺陷模拟分析图

Fig. 7 Distribution of casting defects

件顶部冒口根部均发现裂纹，考虑是由于铸件收缩过程冒口根部产生收缩应力加之冒口为方形，在尖角位置应力集中，产生了裂纹。产品见图8，经检查符合M-211标准规定的断面2级要求。

根据试制产品情况，对于尾部壳体宽度方向发生明显外凸、尺寸偏离较大的情况，通过增加工艺筋，利用优先凝固的工艺筋形成对尾部壳体两个平面的拉力，使其尺寸符合要求^[7]；对于冒口根部产生的裂纹，通过将顶部冒口换成发热易割冒口，使得冒口与铸件接触面积减小，并且冒口颈变成圆形，有效减少了应力的集中，避免了裂纹的发生。

4 结束语

运用华铸CAE铸造模拟软件进行了F型冲击座产品的铸造工艺辅助设计，通过软件的分析功能，可以观



图8 铸件实物图
Fig. 8 Casting picture

察铸件的充型过程、凝固过程以及缺陷的分布情况，根据模拟结果快速调整铸造方案，最终形成较为优选方案进行试制。根据试制情况进行工艺方案优化便能生产符合要求的产品。通过模拟软件的运用，可以明显缩短开发周期，大大提高了新产品的开发效率。

参考文献:

- [1] 李弘英. 铸钢件的凝固和致密度的控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [2] 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.
- [3] 赵红乐, 吴瑞瑞, 王荣峰, 等. 基于均衡凝固理论的铸钢件工艺设计 [J]. 铸造技术, 2014, 35 (3): 609-611.
- [4] 孙建昌. 大型挖掘机履带的结构优化及铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2017, 66 (3): 303-305, 309.
- [5] 李平, 刘松涛, 李锋军. CAE分析在煤矿掘进机用履带板开发中的应用 [J]. 铸造, 2016, 65 (3): 248-252.
- [6] 郭兆东, 仲学军. 华铸CAE软件在铸件生产中的工艺验证 [J]. 中国铸造装备与技术, 2015 (3): 60-62.
- [7] 李伟华, 陈成, 黄美静. 特大型后桥轴架的铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2018, 67 (2): 171-174.

Design and Optimization of Casting Process for F-Type Impact Seat Used for Railway

ZHAO Hong-le¹, ZHANG Wei¹, WANG Zhi-peng¹, MENG Shao-feng², ZHANG Wen-kui¹, LI Zhi-yong¹, HUI Ya-xing³, GAO Li-min³, WEI Jun-liang¹

(1. Jinxi Equipment Manufacturing Co., Ltd., Jinxi Axle Company Limited, Taiyuan 030024, Shanxi, China; 2. Technology Development Department, Jinxi Axle Company Limited, Taiyuan 030024, Shanxi, China; 3. Jinxi Industries Group Co., Ltd., Taiyuan 030024, Shanxi, China)

Abstract:

According to the structural characteristics and technical requirements of the F-type impact seat product, the casting process of the product was designed, and the simulation analysis of the filling process and the solidification process were carried out by using InteCAST casting simulation software. The process was adjusted on the basis of simulation analysis results, and the more preferred process was determined. Finally, through production verification and process optimization, products that meet the requirements were produced. The application of casting simulation software shortens the product development cycle greatly and improves development efficiency.

Key words:

F-type impact seat; process design; numerical simulation