

轨道交通 K6 侧架铸件铸造工艺设计与试制

张玉磊¹, 张 纬¹, 张 纯³, 张文魁¹, 孟少峰², 康 锋², 任艳红²,
李瑞宁¹, 马国梁¹, 王小娟⁴, 石炳华⁴

(1. 晋西装备制造有限责任公司, 山西太原 030000; 2. 晋西车轴股份有限公司, 山西太原 030027;
3. 山西朔州供电分公司, 山西朔州 036000; 4. 宁波全力机械模具有限公司, 浙江宁波 315700)

摘要: K6侧架为国铁C70型通用敞车转向架关键构件, 结构形状复杂, 服役工况严苛, 可靠性要求高。根据K6侧架零件的结构特点和铸件技术条件, 进行了铸造工艺设计, 在砂芯设计、浇注系统、下芯工艺、热处理工艺等方面进行了技术升级和完善, 经过试制, 成功获得了合格的铸件产品。

关键词: 侧架铸件; B+级钢; 整体芯; 机器人

K6侧架是铸钢三大件式货车转向架的主要组成部件, 主要组装于国铁C70型通用敞车, 运行速度120 km/h, 货车载重70 t。侧架在使用过程中的受力状态十分恶劣, 承受着巨大的拉、压、冲击、弯曲等交变载荷作用, 随着我国铁路运输向高速重载的方向发展, 对铁路货车转向架疲劳可靠性的关注度越来越大, 尤其是对转向架的重要走行部件摇枕侧架铸件的产品质量, 提出了越来越高的要求。要确保实现铁路运输高速重载的发展方向, 就必须全面提高摇枕侧架的铸件质量。本文设计了K6侧架的铸造工艺方案, 着重介绍了区别于传统工艺方案的创新点, 分别从浇注系统、砂芯设计、下芯工艺、热处理工艺等方面进行了创新优化, 以确保铸件质量符合TB/T3012—2016《铁道货车铸钢摇枕、侧架》的标准要求。

1 铸件技术条件

依据《铁道货车铸钢摇枕、侧架》、TB/T2942.1—2020《机车车辆用铸钢件技术要求及检验》标准要求, K6侧架采用B+级钢(ZG25MnCrNi)制造, 铸件解剖面的评定区域内, 不应存在面积超过该解剖部位截面内切圆30%的缩孔、缩松缺陷。铸件化学成分要求见表1, 力学性能要求见表2, 非金属夹杂物要求见表3。

2 铸造工艺设计

2.1 铸造方法和生产条件

采用有机酯水玻璃自硬砂和自动化造型生产线造型、制芯, 砂型采用30%新砂

表1 铸件的化学成分

Table 1 Chemical composition of the casting

w_B /%

C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Cu
≤0.29	≤0.50	≤0.030	≤0.030	≤1.00	≥0.20	≤0.50	≤0.30

表2 铸件的力学性能

Table 2 Mechanical properties of the casting

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	断面收缩率/%	冲击吸收功(-7℃)/J
550	≥345	≥24	≥36	≥20

作者简介:

张玉磊(1983-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造工艺设计和铸钢件生产工作。
E-mail: zhangyuleifd@163.com

中图分类号: TG24
文献标识码: B
文章编号: 1001-4977(2022)02-0210-05

收稿日期:

2021-07-21 收到初稿,
2021-09-16 收到修订稿。

表3 铸件的非金属夹杂物
Table 3 Nonmetallic inclusions in the casting

夹杂物类别	合格级别
I型(球状)夹杂物	细系1级~3级,粗系1级
II型(点网状)夹杂物	1级~2级
III型(点状)夹杂物	细系1级~3级,粗系1级
IV型(群状三氧化二铝)夹杂物	1级

+70%再生砂制备,砂芯采用100%新砂制备,采用20 t EBT偏心底电弧炉+20 t LF精炼炉熔炼合金。

2.2 铸造工艺

2.2.1 铸件工艺性分析

K6侧架属于典型的薄壁箱式结构,如图1所示,壁厚14~30 mm,轮廓尺寸2 374 mm×625 mm×440 mm,重约480 kg。侧架内腔连接筋较多,各相邻平面壁厚差

异较大,承载鞍支撑面处的壁厚由16 mm过渡到25 mm,弹簧承台面处的壁厚由18 mm过渡到25 mm,立柱面处最大壁厚30 mm,最小壁厚14 mm,铸件壁厚不均匀,热节多且分散,易产生缩孔、缩松等铸造缺陷。

2.2.2 砂芯设计

传统的砂芯设计方法中采用分体砂芯方案形成铸件关键部位内腔形状,如图2所示,铸造时容易在关键部位产生披缝、台阶、裂纹等缺陷,芯撑与铸件熔合不良易造成安全隐患,也降低生产效率。本次研制K6侧架铸件的砂芯设计采用整体芯形成铸件关键部位内腔形状,有效避免上述问题,如图3和图4所示,K6侧架内腔由3#整体芯形成;中央方框由1#砂芯形成,滑槽由2#砂芯形成,导框由4#砂芯形成,挡键部位由5#砂芯形成,如图4所示。

K6侧架整体芯采用机器人分别对整体芯、砂型扫

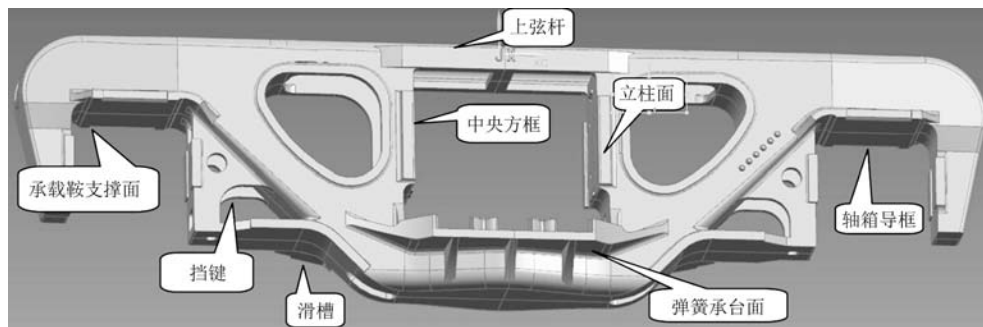


图1 侧架示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the side frame

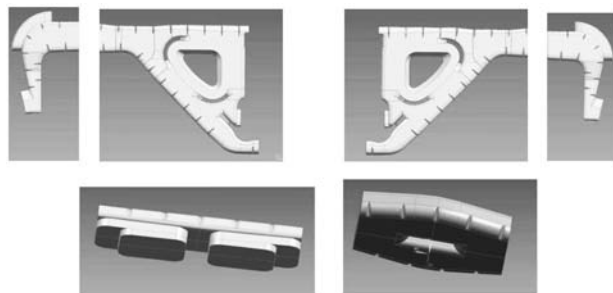


图2 侧架分体芯

Fig. 2 Split core of the side frame

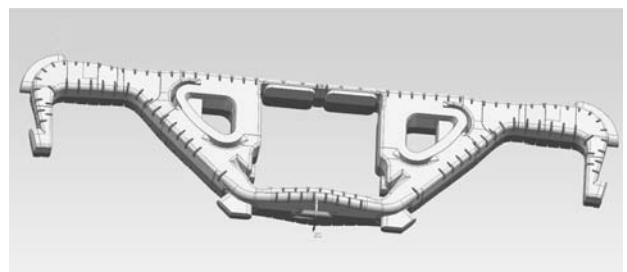


图3 侧架整体芯

Fig. 3 Integral core of the side frame

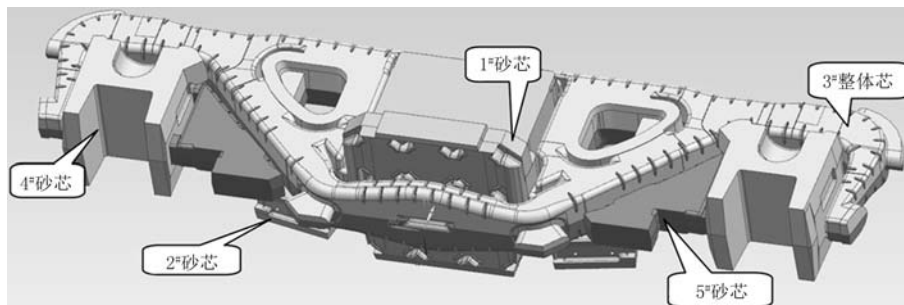


图4 侧架铸件组芯图

Fig. 4 Sand core assembling diagram of the side frame casting

描定位的方式，完成下芯过程，无需人工干预，确保下芯精度。

2.2.3 补缩系统设计

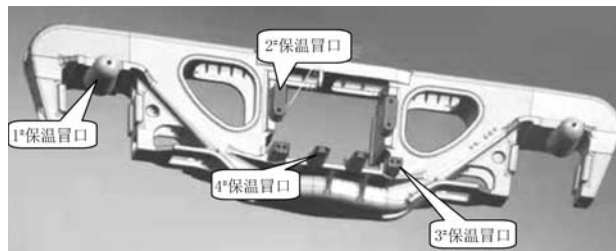
根据侧架热节的位置设置冒口，在侧架承载鞍支撑面设置2个1#保温冒口，立柱面处设置2个2#保温冒口，弹簧承台面处设置4个3#、4#保温冒口，如图5所示。

为了加快铸件局部冷却速度，加强铸件顺序凝固条件，根据侧架铸件的结构特点，在侧架的关键部位、筋板相交处设置了12块随形冷铁。

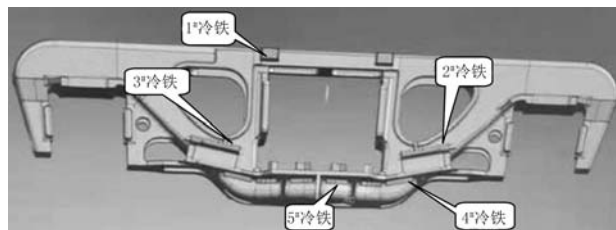
2.2.4 浇注系统设计

传统的浇注系统设计在铸件的上弦杆侧面开设内浇道，金属液对砂型、砂芯的冲击力较大，充型过程容易卷入型腔内气体，同时，铸造工艺出品率仅为69.8%；本次研制K6侧架铸件采用底注式浇注系统；同时，一型布置两件，与传统工艺相比，铸件充型液流平稳性增加，铸造工艺出品率提高到75.3%。

采用20 t底漏包浇注侧架铸件，包孔直径 $\Phi 55$ mm，



(a) 侧架补缩冒口示意图



(b) 侧架冷铁示意图

图5 侧架铸件补缩系统设计

Fig. 5 Design of the feeding system for the side frame casting

由式(1)计算出浇注时间 $t=17.7$ s。

$$t = \frac{G}{N \times n \times V_G} \quad (1)$$

式中： G 为钢液重量，kg； N 为同时浇注的浇包个数，一般 N 取1； n 为一个浇包内的包孔数； V_G 为钢液的质量流率，kg/s。

由式 $V_{液}=H/t$ 计算出液面上升速度为24.9 mm/s，大于20 mm/s，符合设计要求，由此取包孔直径为 $\Phi 55$ mm，根据底漏包浇注铸钢件浇注系统各组元截面积比例，计算直浇道直径为 $\Phi 80$ mm，开放式浇注系统浇道截面积比例取 $A_{直}:A_{横}:A_{内}=1:1.4:1.7$ ，设计横浇道1个，内浇道4个，开设在铸件底面立柱旋转止挡处，如图6所示。

2.3 机器人下芯

依据“设备保工艺，工艺保质量”的原则，K6侧架整体芯下芯采用自动化下芯工艺，使用工业机器人，将K6侧架整体芯、砂型三维实体模型输入机器人三维激光扫描系统，编写下芯程序。相较于传统的人工下芯，使用机器人对整体芯进行识别、扫描、定位、抓取，如图7所示，整个下芯过程避免了人工干预，定位十分精准，下芯精度小于0.05 mm，下芯过程平稳、无磕碰，减少了铸件产生夹杂等缺陷的概率，提高了铸件质量。

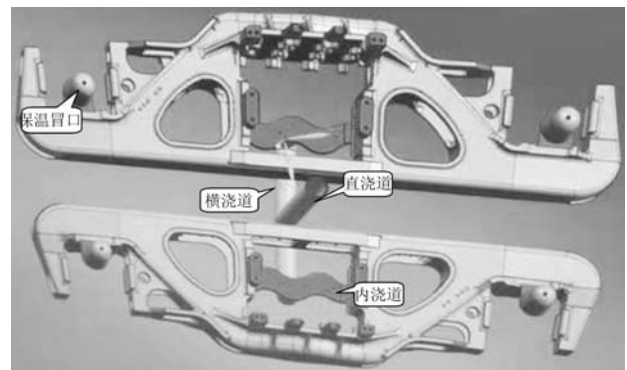


图6 铸造工艺简图

Fig. 6 Drawing of the casting process



(a) 机器人扫描整体芯

(b) 机器人下芯

图7 机器人下芯

Fig. 7 Picture of the robot core

2.4 熔炼工艺

采用20 t EBT偏心底电弧炉+20 t LF精炼炉熔炼合金。矿石、氧气结合法进行氧化，氧化期温度控制在1 580~1 600 ℃，加矿温度 \geq 1 560 ℃，矿石应分批加入，均匀加入到熔池中心，保持熔池均匀沸腾，严禁大沸腾；精炼过程中分批多次加入复合脱氧剂进行还原，白渣保持时间 \geq 30 min，精炼结束后，进行喂铝线操作，喂线结束后，进行吹氩。

2.5 热处理工艺

传统的台车式热处理炉因其加热方式、铸件摆放方式导致台车式热处理工艺存在铸件质量状态不稳定的问题。悬挂式连续热处理工艺，相较于传统的台车式热处理工艺，连续式热处理炉具有加热效率高、炉温均匀性好、冷却能力强、自动化程度高的优点，所处理的摇枕、侧架具有优良的金相组织、力学性能，产品质量更稳定、可靠。

各升温段、保温段温度设置：一段520 ℃，二段

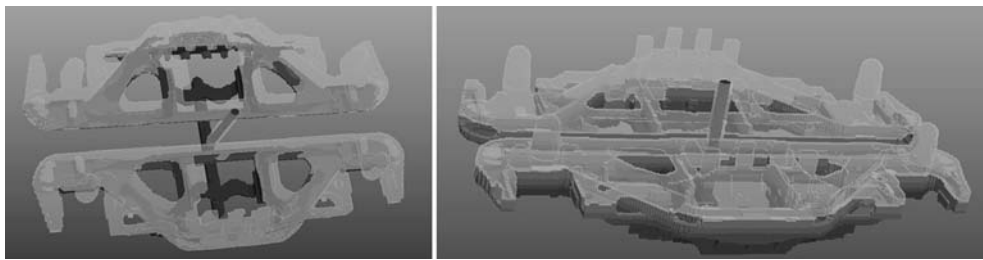
640 ℃，三段730 ℃，四段820 ℃，五段按比保温段设定值低10 ℃设定，六段至九段按规定保温温度设定；吊具30~42 min运行一次，每次运行两组积放车。

3 铸造工艺数值模拟结果及分析

运用AnyCasting数值模拟软件对K6侧架铸造工艺进行数值模拟和分析，首先运用UG建模软件分别对侧架的砂型、砂芯、浇冒系统、冷铁等进行实体建模，并分别导出STL文件^[1]，再将导出的STL文件导入到Anycasting中的anyPRE模块，设置实体格式，确定各个实体在数值模拟过程中的名称和作用，进行网格划分，设置材料热物性参数和边界条件等^[2]，液相线温度设置为1 505 ℃，固相线温度设置为1 415 ℃^[3]，砂型温度30 ℃，数值模拟结果和分析如下。

3.1 充型过程数值模拟及分析

充型过程数值模拟如图8所示，金属液由直浇道流



(a) 充型23%

(b) 充型50%

图8 侧架铸件充型过程数值模拟结果

Fig. 8 Numerical simulation result of the mold filling process of the side frame casting

入，经横浇道分流至两侧的内浇道，由铸件立柱旋转止挡处进入型腔，充型约23%时，液流到达侧架外弯角处，随后逐步充满型腔，整个过程液流充型平稳。

3.2 凝固过程数值模拟及分析

由侧架铸件凝固过程的数值模拟分析可知，侧架最后凝固区域为中央方框立柱面、弹簧承台面、承载鞍支撑面，工艺设计时上述部位均设置了冒口进行补缩，数值模拟结果显示，中央方框立柱面、弹簧承台面、承载鞍支撑面处均未出现明显的缩孔、缩松缺陷，冒口补缩效果良好，侧架其他关键区域、受力部位也未出现明显的缩孔、缩松缺陷，如图9所示。

4 生产验证

组织进行小批量试制，经检测，试制侧架铸件的化学成分、金相组织、力学性能、非金属夹杂物均符合《铁道货车铸钢摇枕、侧架》、《机车车辆用铸钢件技术要求及检验》的标准要求。

根据《铁道货车铸钢摇枕、侧架》标准规定的解剖位置，如图10所示，对试制件进行解剖，经过对解剖面的检查，如图11所示，解剖面均未发现明显的缩孔、缩松缺陷，符合标准要求。

采用CTS-9006Plus超声波探伤仪对侧架进行超声波探伤检查，超探结果符合标准要求；采用DC-2030B数字直读式超声波测厚仪对侧架进行测厚检查，壁厚

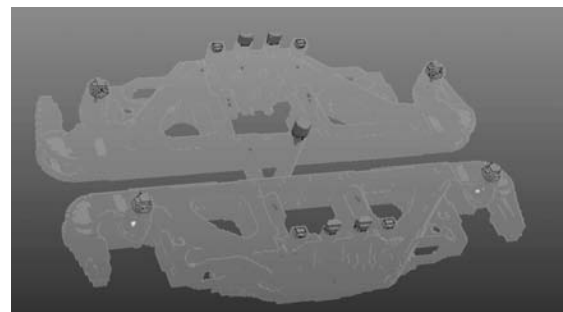


图9 侧架铸件凝固过程数值模拟结果

Fig. 9 Numerical simulating result of the solidification process of the side frame casting

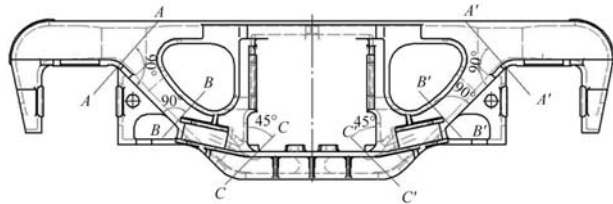


图10 侧架铸件解剖位置

Fig. 10 Anatomical positions of the side frame casting

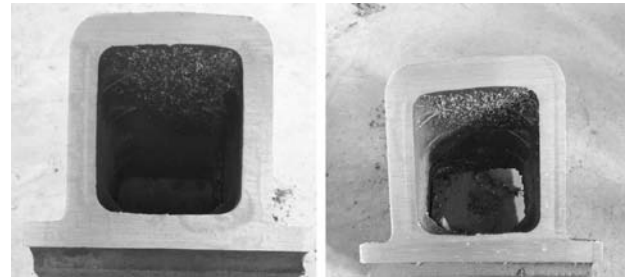
符合产品图的要求。随机抽取3件侧架进行动静载荷试验，试验结果符合标准要求。

5 结论

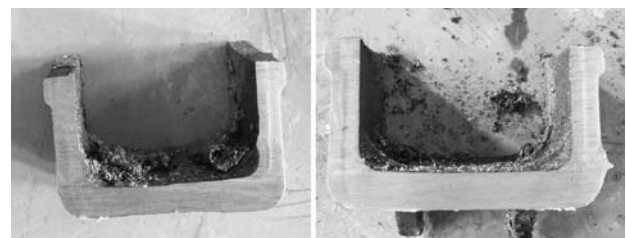
(1) K6侧架铸件采用整体芯工艺可有效防止铸件产生披缝、台阶、裂纹等缺陷；采用机器人进行下芯，过程平稳、无磕碰，下芯精度小于0.05 mm，提高了产品质量。

(2) K6侧架铸件采用一型两件、底注式浇注系统，充型平稳，铸造工艺出品率由69.8%提高至75.3%。

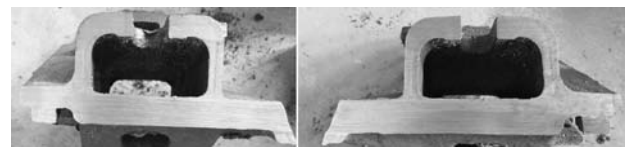
(3) K6侧架铸件采用连续式热处理炉进行热处理，铸件金相组织、力学性能优良，产品质量稳定、可靠。经生产验证，产品符合标准要求。



(a) A-A



(b) B-B



(c) C-C

图11 侧架铸件剖面

Fig. 11 Sections of the side frame casting

参考文献:

- [1] 骆宏文, 张文昌, 徐道兵, 等. 转K6摇枕铸造工艺模拟及优化 [J]. 铸造, 2020, 69 (1): 69-73.
- [2] 何若虚. 铝硅合金减速器壳体砂型铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2020, 69 (7): 761-763.
- [3] 骆宏文, 旷丹锋, 张文昌, 等. 铸钢侧架铸造工艺设计及优化 [J]. 铸造, 2020, 69 (7): 722-726.

Casting Process Design and Trial Manufacture of Rail Transit K6 Side Frame Casting

ZHANG Yu-lei¹, ZHANG Wei¹, ZHANG Chun³, ZHANG Wen-kui¹, MENG Shao-feng², KANG Feng², REN Yan-hong², LI Rui-ning¹, MA Guo-liang¹, WANG Xiao-juan⁴, SHI Bing-hua⁴

(1. Jinxi Equipment Manufacturing Co., Ltd., Taiyuan 030000, Shanxi, China; 2. Jinxi Axle Company Limited, Taiyuan 030027, Shanxi, China; 3. Shanxi Shuozhou Power Supply Company, Shuozhou 036000, Shanxi, China; 4. Ningbo Quanli Machinery Mould Co., Ltd., Ningbo 315700, Zhejiang, China)

Abstract:

K6 side frame is the key component of C70 general convertible bogie of China Railway, with complex structure shape, strict working conditions and high reliability requirements. According to the structural characteristics and technical requirements of the K6 side frame parts, the casting process design was carried out, in the sand core design, gating system, core setting process, heat treatment process and other aspects of technology upgrades and improvement. After trial production, the qualified casting products were obtained successfully.

Key words:

side frame casting; B+grade steel; integral core; robot