

# 铁路货车高质量心盘铸件制造工艺

毕红雪, 李福胜

(郑州铁路职业技术学院, 河南郑州 451460)

**摘要:** 介绍了一种铁路货车心盘的生产实践。在多年货车心盘生产的基础上, 设计了满足AAR M201 B+级钢心盘的冶炼、铸造、热处理工艺及工装。经模拟计算和生产验证, 生产的心盘符合质量标准。

**关键词:** 心盘; 铸造; 热处理工艺

随着我国铁路机车车辆制造技术水平的提高, 铁路机车车辆产品也不断地出口到国际市场, 实现这些产品的出口, 又推动了我国制造技术水平的进一步提高。2017年, 出口到北美地区的一批心盘, 有较高的内在质量和较高的硬度等要求, 这与目前生产的国内心盘质量要求相比有较大的提高, 无疑在工艺设计和生产实践中存在一定的难度。

## 1 主要技术要求

- (1) 心盘碳含量不得高于0.32%, 焊接面无粘砂、砂眼等铸造缺陷。
- (2) 材质符合北美铁路协会AAR M201 B+级钢要求<sup>[1]</sup>。
- (3) 心盘进行正火和表面淬火及回火处理。正火硬度BHN 137~228; 表面进行淬火, 淬火区域表面硬度为BHN 375~515, 表面下3 mm位置, 硬度不低于BHN 300。
- (4) 加工淬火平面、外圆及四个定位平角。表面粗糙度不大于 $6.3 \mu\text{m}$ , 淬火面平面度不大于0.4 mm, 定位平角平行度不大于0.8 mm。
- (5) 心盘外观、淬火面硬度全数检验; 所有表面进行荧光磁粉探伤, 达到ASTM E125 2级以上。

## 2 铸造工艺

### 2.1 铸造工艺及工装设计

#### 2.1.1 铸造工艺设计

心盘铸造采用水玻璃砂造型, 在顶面安置2个腰形明冒口, 单侧浇注; 热节部位培一定厚度的铬铁矿砂, 以提高耐火度和钢液冷却速度, 减少铸造缺陷; 中频感应电炉冶炼, 底注包浇注, 浇注温度大于 $1550\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 浇注时间约8~11 s。

#### 2.1.2 工装设计

使用原有金属模型、芯盒及砂箱等工装, 合箱后工艺方案见图1。现有浇注系统结构设计是在心盘铸件一侧设置浇注通道; 浇注时, 钢液通过直浇道8和内浇口7注入型腔; 钢液充型至冒口设定的液面高度后停止浇注, 冒口开始对铸件进行补缩。待铸件冷却后, 开箱清砂, 切割浇冒口。

作者简介:

毕红雪(1979-)女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为机车牵引与控制。电话: 18337182965, E-mail: 40938243@qq.com

中图分类号: TG24

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)01-0023-06

基金项目:

河南省科学技术厅2017年高新技术研究项目(172102210557)。

收稿日期:

2018-08-28 收到初稿,  
2018-10-08 收到修订稿。

现有浇注系统设计方案的缺点是由于直浇口和内浇口在铸件一侧，造成钢液从单侧进入铸型，最后进入冒口；铸件凝固后，铸件和内浇口连接部位通过解剖，发现内部组织比较粗大，导致铸件内部组织整体不均匀；由于钢液持续通过内浇口进入铸型，高温钢液对该部位作用时间比较长，很容易造成铸件局部粘砂，严重影响铸件外观质量。

### 2.1.3 创新的技术、工装设计

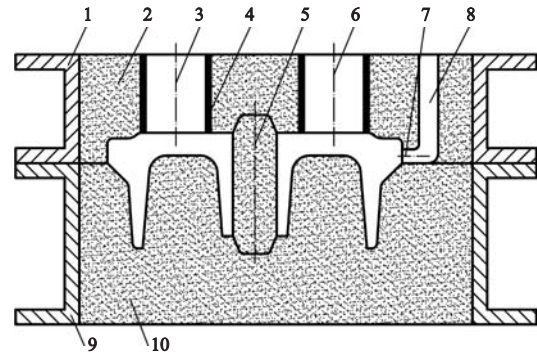
使用新制的金属模型、芯盒及砂箱等工装，改进技术后新合箱图及雨淋芯示意图如图2所示。

在冒口4下部设置一个树脂砂制作的异型雨淋芯<sup>[2]</sup>，并且中间设置一个圆孔，用作铸件凝固时的补缩通道；圆孔周围设置10个雨淋孔，用作浇注时钢液进入铸型的通道（图2b）。浇注前，在雨淋芯中间圆孔上放置一块定制的高铝质堵头5，堵塞雨淋芯中间圆孔；浇注时，钢液直接经过冒口4，并通过雨淋芯的10个雨淋孔进入铸型，钢液充型至冒口设定的液面高度后停止浇注。由于高铝质堵头比钢液的密度小，堵头上浮，雨淋芯中间补缩通道打开，冒口开始对铸件进行补缩。雨淋芯中间圆孔此时畅通，发挥冒口4对铸件的补缩通道作用。同时高铝质的堵头5由于强度高，耐高温，耐钢液冲刷等，在开始浇注时钢液直接浇到堵头上平面，避免了钢液开始浇注时对雨淋芯和铸型的冲刷。

上述结构的优点在于：采用从冒口通过雨淋芯进行浇注的结构，解决了原来从单侧浇注导致铸件整体组织不均匀的问题，同时取消了直浇口和内浇口，大大降低了钢液的使用量，提高了铸件的出品率；由于增加了雨淋芯，减少了对冒口4的切割量；取消了原方案中的内浇口，减少了对浇冒口的切割工作量；采用雨淋式的浇注系统，钢液充型平稳，减少了钢液对铸型的冲刷及便于钢液中夹杂物的上浮。采用新的浇注系统后，用同一个浇注包和相同的浇注方式进行浇注，每箱浇注时间约11~13 s，比原有工艺浇注时间稍长。

## 2.2 铸造工艺计算机模拟

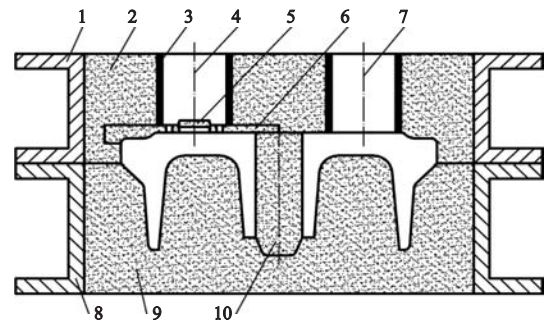
对设计的铸造工艺利用华中科技大学的华铸CAE/InteCAST凝固模拟软件进行铸造凝固模拟<sup>[3]</sup>。该模拟是基于有限单元法对进行凝固过程温度场、缩孔缩松等铸造缺陷的数值模拟。模拟过程首先充分考虑了钢液充型，凝固过程的初始条件、边界条件，材料热物性参数的确定以及潜热的处理等。铸造凝固模拟结束时的温度场及铸件缩孔缩松分布的位置示意图分别见图3和图4。凝固模拟结果显示，在铸件本体上没有缩孔缩松缺陷，存在一定体积的缩松缺陷主要集中在冒口根部和直浇道与横浇口的连接热节部位。



1.上砂箱 2.型砂 3.冒口 4.冒口套 5.砂芯 6.冒口  
7.内浇口 8.直浇道 9.下砂箱 10.下砂型

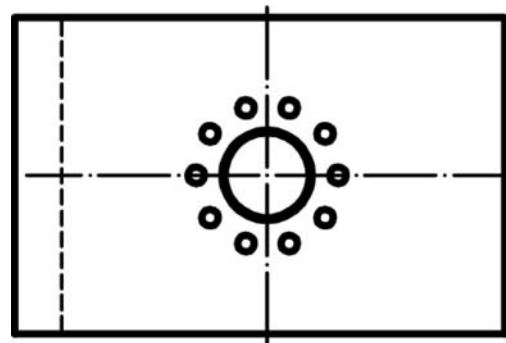
图1 合箱图

Fig. 1 Mold assembling diagram



1.上砂箱 2.型砂 3.冒口套 4.冒口 5.堵头 6.雨淋芯  
7.冒口 8.下砂箱 9.下砂型 10.砂芯

(a) 新合箱图



(b) 雨淋芯

图2 新合箱图及雨淋芯示意图

Fig. 2 New mold assembling diagram and shower core map

### 2.3 铸件解剖验证

对采用上述铸造工艺生产的首批前三件心盘分别进行了机械解剖，以验证内部密实度以及缩孔缩松缺陷情况。从解剖的截面看，内部密实度良好，没有缩孔缩松缺陷存在。图5为首件心盘铸件和解剖实例图。

## 3 熔炼工艺

### 3.1 化学成分

AAR M201标准对B+级钢只确定了C、Si、Mn、P、S这五个元素的含量上限。为了保证化学成分控制的稳定性，根据以往生产经验，对C、Si、Mn三个元素分别设计了下限要求。为了达到B+级钢要求的力学性能，加入适量的合金化元素，通过化学成分的合理配置和热处理工艺的调整，以满足B+级钢强度、塑性和低温冲击韧性的要求。AAR M201标准中B+级钢和中国铁道TB/T 46—1995标准ZG230-450级钢<sup>[4]</sup>的化学成分见表1。表中B+级钢规定的碳含量最大值以下，每降低0.01%的碳，允许锰含量在规定的最大值上增加0.04%，但锰含量最大不超过1.20%；B+级钢要求按照 $CE=C+(Mn+Si)/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15$ 计算的最大碳当量应 $\leq 0.72$ 。

### 3.2 力学性能要求对比

AAR M201标准B+级钢和中国铁道TB 46—1995标准ZG230-450级钢要求心盘力学性能对比见表2。

表2看出，AAR M201对心盘的力学性能要求较高，需要在冶炼时适量添加一些合金元素提高其力学性能。由于Cr和C元素能形成合金碳化物，它们含量越高，强度越高，塑性越低，故可以适当控制Cr和C元素的加入量，在保证强度的同时，不降低塑性；Ni提高钢的淬透性，并可显著改善钢低温韧性<sup>[5]</sup>。因此可以适量加入Cr和Ni元素，目标成分范围为0.25%~0.55% Cr，0.10%~0.35% Ni，并进行生产验证。

### 3.3 熔炼生产工艺

B+级钢采用中频感应电炉熔炼<sup>[6]</sup>，碱性炉衬。废钢全部采用干净无油污的钢板余料和部分碳素钢冒口等。合金料铬铁全部破碎成15 mm以下的颗粒状，镍铁剪切为边长不超过30 mm的方形料，并于入炉前在电阻炉内进行彻底烘干。使用KZ-300BG型壁挂式数显测温仪对熔炼过程以及出钢前的钢液进行测温控制。底注式钢液包在使用前用天然气进行烘烤，出钢后钢液表面盖覆盖剂，钢液在钢包内静止5~10 min后进行浇注。炉前采用DF-100直读光谱仪对化学成分进行快速分析。

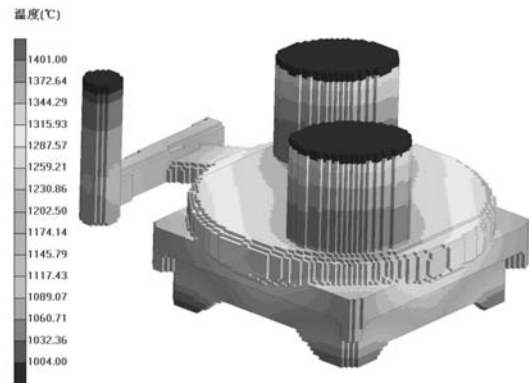


图3 温度场  
Fig. 3 Temperature field

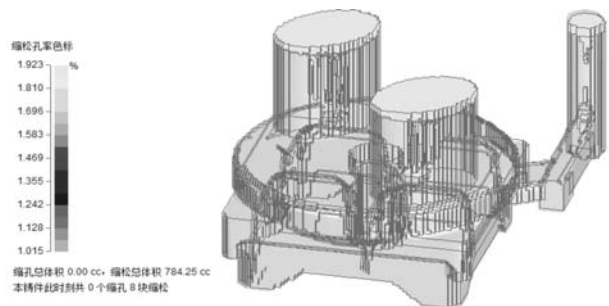


图4 缩孔缩松分布  
Fig. 4 Shrinkage porosity distribution



图5 心盘铸件及其解剖图  
Fig. 5 Produced center plate casting and its dissection picture

表1 化学成分要求  
Table 1 Chemical composition requirements  $w_B/\%$

材质	C	Si	Mn	P	S	其他元素
B+	$\leq 0.32$	$\leq 1.50$	$\leq 0.90$	$\leq 0.040$	$\leq 0.040$	无要求
ZG230-450	$\leq 0.30$	$\leq 0.60$	$\leq 0.90$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	残余

表2 力学性能要求  
Table 2 Mechanical performance requirements

材质	抗拉强度 $R_m$ /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 $A_5$ /%	断面收缩率 $Z$ /%	冲击功 $A_{KV}$ /J	本体硬度 BHN	表面硬度 BHN
B+	$\geq 551$	$\geq 344.5$	$\geq 24$	$\geq 36$	$\geq 20.3 (-7^\circ\text{C})$		
ZG230-450	$\geq 450$	$\geq 230$	$\geq 22$	$\geq 32$	25 (常温)	137~228	375~515

## 4 热处理

### 4.1 热处理工艺设计

正火温度在870~950℃范围内时,成分均匀化,奥氏体晶粒大小适中,经空冷正火后得到细小均匀的铁素体和珠光体混合组织。材料在此范围内正火,力学性能能够满足B+级钢性能要求。

表面和外圆淬火采用中频感应加热,先进行外圆面淬火,再进行平面淬火。淬火后的心盘必须在8 h内进行回火,以消除淬火应力。

### 4.2 热处理生产工艺

采用台车式电阻炉,利用微电脑程序控制仪对热处理时的升温速率、保温时间等进行精确控制。正火温度目标910℃,保温270 min。出炉后在空气中自然冷却至室温<sup>[7]</sup>。电阻炉内设置4个测温点,每6个月对炉膛内的温度场均匀性进行测试和维护。

表面和外圆淬火采用专用中频感应机床,感应加热、冷却水喷射时间由定时器精确控制,工件移动和旋转速度由无级变速电机进行控制,以获得理想的淬火硬度和淬硬层深度。心盘淬火后要冷却到室温,才能进行硬度检测。

### 4.3 机械加工

加工采用CKB6180数控车床,主要工艺流程如图6。



图6 加工工艺流程  
Fig. 6 Machining flow

## 5 化学成分及力学性能的检验

### 5.1 化学成分

根据设计的化学成分,分别浇注了铸件和试样,

并采用DF-100直读光谱仪对试样进行成分检测。试样的化学成分检测数据见表3。

由于现有的检测设备有限,钢液中的氧、氮含量等目前生产现场还不具备检测手段。今后应创造条件配置相关的检测设备,以提高质量控制水平。

### 5.2 力学性能

对浇注的铸件和试样,同炉进行正火处理。利用WAW-300D微机液伺服万能拉力试验机进行拉力测试,拉伸试样尺寸示意图见图7;低温冲击试验在JB-30A型冲击试验机上进行,采用V型缺口试样。检测的数据见表4。

### 5.3 铸件淬火硬度

#### 5.3.1 表面淬火硬度

采用华银320HBS-3000数显布氏硬度机对淬火后的心盘表面按图8进行布氏硬度检测,结果见表5,满足了布氏硬度BHN 375~515的要求。

#### 5.3.2 解剖面硬度

通过解剖心盘铸件,对淬火区域表面下3 mm按

表3 试样成分检测数据  
Table 3 Chemical composition of samples  $w_B$ /%

序号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
1	0.25	0.58	0.68	0.014	0.013	0.42	0.16
2	0.26	0.48	0.75	0.014	0.008	0.43	0.14
3	0.26	0.55	0.68	0.020	0.009	0.46	0.20
4	0.28	0.60	0.75	0.020	0.008	0.46	0.15
5	0.30	0.55	0.70	0.018	0.009	0.47	0.14
6	0.27	0.54	0.77	0.016	0.008	0.48	0.15

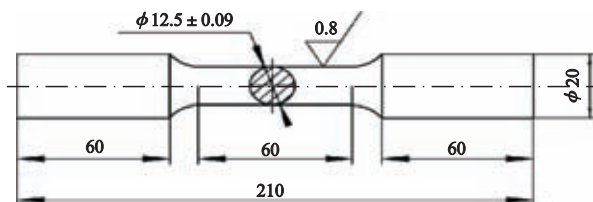


图7 拉伸试样示意图

Fig. 7 Sketch of tensile specimen



图9位置要求进行布氏硬度检测，结果见表6，满足了不低于BHN 300的硬度要求。

### 5.4 金相组织及晶粒度

利用金相设备Olympus GX51，依据ASTM1245-2003标准对热处理后的试样进行检测，图10结果显示，金相组织主要为细珠光体，沿晶界分布少量的铁素体。

### 5.5 钢液微观纯净度

随机从一件本体上取样验证钢液中的夹杂物存在情况。主要利用美国力可公司Inclusions夹杂物自动分

析系统，和Olympus GX51的显微镜，并参照ASTM E1245标准进行夹杂物分析和检测。检测结果显示钢液中的氧化物+孔穴平均百分比为0.070%，满足标准规定小于0.100%的要求；氧化物+孔穴最差视场百分比和硫化物最差视场百分比分别为0.270%和0.180%，均满足标准规定小于0.750%的要求，符合AAR相关标准<sup>[8]</sup>对钢液微观纯净度的要求。图11为最差视场下夹杂物。

### 5.6 外观检查

对首批生产的心盘产品进行100%的外观缺陷、粗糙度检查，并按照要求进行荧光磁粉探伤。检测结果较好，均能满足AAR标准对心盘的质量要求。

表4 力学性能检测数据  
Table 4 Mechanical properties of tested samples

序号	抗拉强度 $R_m$ /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 $A_5$ /%	断面收缩率Z/%	本体硬度 BHN (正火)	冲击功 $A_{KV}$ /J (-7℃)
1	583	354	26.5	45	181	32/34/37
2	589	365	27	48	185	29/32/36
3	603	361	28	52	195	31/29/28
4	618	378	28	61	201	35/32/31
5	633	391	26	41	195	30/35/28
6	613	372	25.5	47	189	30/35/29

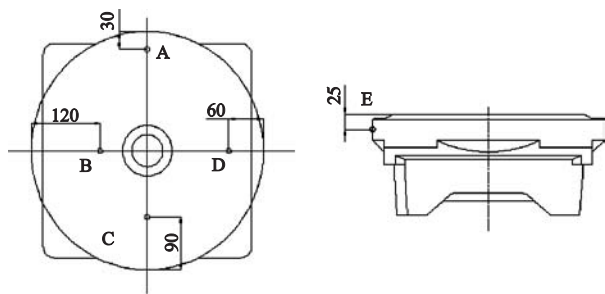


图8 硬度检测点示意图  
Fig. 8 Sketch of hardness test points

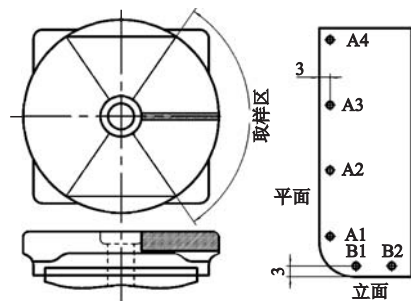


图9 硬度检测点示意图  
Fig. 9 Sketch of hardness test points

表5 硬度检测结果  
Table 5 Hardness test results

检测点	实测硬度值 BHN
A	503
B	471
C	494
D	478
E	486

表6 硬度检测结果  
Table 6 Hardness test results

检测点	检测硬度值 BHN
A1	447
A2	409
A3	420
A4	425
B1	466
B2	444

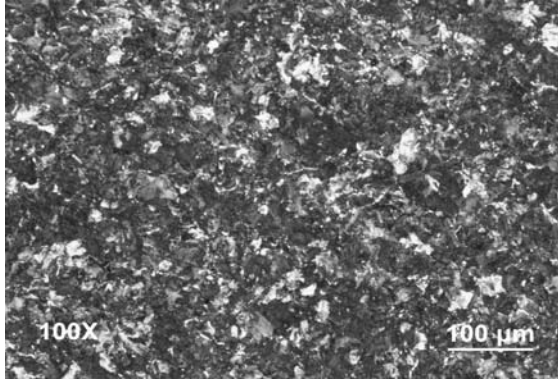


图10 金相组织

Fig. 10 Metallographic structure



图11 夹杂物图

Fig. 11 Inclusions diagram

## 6 结论

(1) 经计算分析和实物验证, 采用新设计的铸造工艺生产出符合AAR M201 B+级钢标准的心盘, 性能优于在产和按照中国铁道标准生产的已在国内货车应用的心盘。对实物进行的相关验证, 均符合AAR技术标准要求, 可以按照此工艺进行生产。

(2) 从力学性能检测结果看, 虽然全部符合标准要求, 但个别试样结果超过标准最低指标要求的富余量不多。

### 参考文献:

- [1] M-201 铸钢件 [S]. 北美铁路协会, 2016.
- [2] 金仲信. 雨淋浇口的的设计 [J]. 铸造技术, 1985 (4): 20-22.
- [3] 刘晨, 米国发, 王有超, 等. 基于 ViewCast 的顶盖砂型铸造工艺数值模拟及优化 [J]. 热加工工艺, 2017 (19): 92-95.
- [4] TB/T46-1995 车辆用上下心盘技术条件 [S]. 中华人民共和国铁道部, 1995.
- [5] 刘桂生, 郑永瑞. 化学成分对钢的冲击韧性的影响 [J]. 轧钢, 2011 (9): 8-9.
- [6] 卓先智. C 级低合金钢冶炼工艺 [J]. 铁道机车车辆工人, 1997 (2): 10-12.
- [7] 《热处理手册》编委会. 热处理手册: 第 2 卷 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2001: 9-18.
- [8] AAR M-107/M-208 AAR manual of standards and recommended practices wheels and axles [S]. 2016.

---

## Manufacture Process of High Quality Center Plate Castings for Railway Freight

BI Hong-xue, LI Fu-sheng

(Zhengzhou Railway Vocational and Technical College, Zhengzhou 451460, Henan, China)

### Abstract:

The production practice of a freight center plate was introduced. On the basis of years of freight center plate production, the smelting technology, casting method, heat treatment process and craft equipment for the production of AAR M201 B + steel center plate castings were designed. Through simulation calculation and production verification, the produced center plates meet the requirements of quality standards.

### Key words:

center plate; casting; heat treatment process