

# 垂直 DISA 线生产高铁用球墨铸铁底板类产品铸造工艺设计及优化

刘士魁, 张宝良, 卢向宇

(大连冰山金属技术有限公司, 辽宁大连 116600)

**摘要:** 为了提高垂直分型DISA线的生产效率和产品质量, 以高铁用球墨铸铁底板类产品为例, 阐述了垂直分型DISA线高铁用底板产品的模具工艺布局及浇注系统设计方法。结果表明, 按照新的工艺设计, DISA线生产效率提高100%, 并且通过壳芯内嵌式冷铁技术, 解决了铸件关键热节部位内部的缩松、缩孔问题, 成功实现了长度405 mm和宽度185 mm高铁用底板在DISA A板上每模2腔批量生产。

**关键词:** 高铁; 球墨铸铁底板; 垂直分型DISA线; 嵌入式冷铁

随着高速铁路的快速发展, 铁路扣件系统发展越来越快, 且形式越来越多。板式无砟轨道的结构形式, 由于避免了道砟飞溅, 具有平顺性、稳定性好、维护简单、寿命长等优点, 是高速铁路发展的趋势<sup>[1]</sup>。在板式无砟高速铁路用扣件系统中, 底板类快速扣件系统由于安装方便、维护简单、稳定性好等优点, 市场占有率逐渐增大。此类高速铁路内扣式快速扣件系统结构复杂、尺寸精度要求高, 关键部位要求无缩松、缩孔类铸造缺陷, 因此铸造难度非常大。

DISA垂直造型生产线生产效率、尺寸精度高, 且易于垂直方向补缩, 非常适合此类高铁铸铁垫板的生产。笔者公司多年来一直为国内外研发、生产球墨铸铁高铁扣件铸件, 在此类铸件生产方面积累了很多方法和经验。本文主要对DISA垂直造型线生产内扣式快速扣件铁垫板的生产工艺进行探讨, 重点从工艺布局、冷铁使用、浇注系统设计等生产工艺入手, 探讨提高DISA线生产效率和产品质量的设计方法。

## 1 铸件技术要求

铸件外形尺寸为405 mm × 185 mm × 75 mm, 中间板厚度14 mm, 最小厚度8 mm, 最大厚度36 mm, 重量约8.8 kg, 形状如图1所示。材质为QT500-7, 球化率等级按照GB/T9441-2009《球墨铸铁金相检验》要求达2级以上, 力学性能符合GB/T1348-2019的规范, 且铸件内部无缩松、缩孔、裂纹等铸造缺陷。

## 2 铸造工艺设计

### 2.1 模具布局设计

笔者公司采用的是垂直分型DISA 231A自动化生产线, 模板尺寸为600 mm × 480 mm。按照常规设计及DISA应用手册理论<sup>[2]</sup>, 此产品只能设计每模1腔, 图2所示为我公司生产的相同外观尺寸的高铁底板类产品布局。虽然产品质量稳定, 但生产效率偏低, 大芯头也造成砂芯较重, 生产成本低。

为了提高生产效率及产品质量, 我们改进砂芯定位位置, 利用砂芯内嵌式冷铁改变局部热节部位冷却顺序, 实现了DISA造型该类模板每模2腔的布局工艺(图3)。模板利用率从38%提高到59.5%, 达到技术要求60%的上限, 且铸件内部无缩松、缩孔铸造缺陷。

作者简介:

刘士魁(1974-), 男, 工程师, 主要研究方向为DISA垂直造型线铸造工艺设计。E-mail: lskjiang@163.com。

中图分类号: TG242

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)

09-1084-04

收稿日期:

2021-04-14 收到初稿,

2021-05-12 收到修订稿。

## 2.2 壳芯内嵌式冷铁砂芯设计

包裹砂芯的下部热节部位距离冒口较远,且两个热节之间是一个垂直距离为168 mm平板,冒口无法对下部热节进行补缩,从而容易出现缩松、缩孔缺陷。在该热节部位两侧采用嵌入式随形冷铁工艺,改变局部热节部位的冷却顺序,并利用球墨铸铁均衡凝固理论<sup>[3]</sup>,解决铸件缩松、缩孔缺陷。

本工艺制芯,首先把冷铁放到热芯盒指定位置,为防止射砂过程中把冷铁冲走,利用嵌入的耐高温磁铁吸附固定冷铁,具体热芯盒冷铁部位结构如图4所示,冷铁在砂芯部位的位置如图5所示。

相比壳芯装配冷铁工艺,此工艺靠树脂砂在热芯盒中固化时把冷铁固定在砂芯上,实现冷铁与砂芯的无缝结合,因而铸件在冷铁部位无毛刺,产品质量稳定可靠。

## 2.3 浇注系统设计

### 2.3.1 浇道设计

根据文献<sup>[2]</sup>,垂直造型控制浇注速度的浇道面积为:

$$S=1\ 036 \times G / (t \times m \times \sqrt{H}) \quad (1)$$

式中:  $S$ 为控制浇注速度的浇道面积( $\text{mm}^2$ );  $G$ 为铸件质量( $\text{kg}$ );  $t$ 为浇注时间( $\text{s}$ );  $m$ 为损失因数(粘度流体损耗);  $H$ 为铸件平均压头( $\text{mm}$ )。

缝隙式内浇道使液态金属保持平稳地注入型腔<sup>[4]</sup>,并有利于金属液中杂质上浮。为减少铁液流速,缓解铁液紊流造成的产品外观砂眼、渣眼缺陷,本内浇道设计成厚2.5 mm的缝隙式结构,根据文献<sup>[2]</sup>,公式(1)中的损失因子 $m$ 取值0.6,本工艺中间注入式内浇道有效铸件平均压头 $H=a-b/2=310-264/2=178$  mm,设

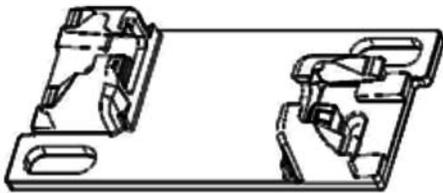


图1 底板铸件外形

Fig. 1 Profile of base plate casting

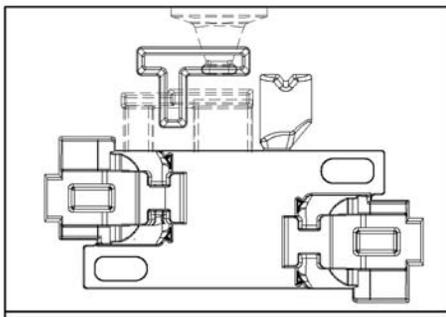


图2 相同外观尺寸底板以前的布局

Fig. 2 The layout of similar base plate casting in the same shape

定浇注时间6 s,代入公式(1),得到控制浇注速度的浇道面积为: $S=1\ 036 \times 8.8 / (6 \times 0.6 \times \sqrt{178}) \approx 190 \text{ mm}^2$ 。

因为此浇注系统只有竖浇道和内浇道,相对比较简单,为防止浇注系统冲砂,浇注系统设计成开放式。为此,竖浇道A处面积为上面计算的控制浇注速度的浇道面积的2倍,所以: $S_A=2 \times S=2 \times 190=380 \text{ mm}^2$ 。

为提高浇注系统的避渣性, $S_B$ 应为 $S_A$ 的1.1~1.2倍<sup>[2]</sup>,本浇注系统取1.15,即: $S_B=1.15 \times S_A=1.15 \times 380=437 \text{ mm}^2$ 。此开放式浇注系统 $S_{内} > 1.1 \times S$ ,即: $S_{内} > 1.1 \times 190$ , $S_{内} > 209 \text{ mm}^2$ ,本内浇道设计为 $100 \times 2.5=250 \text{ mm}^2$ 。

### 2.3.2 冒口设计

鉴于本工艺模板利用率已经最大化,在满足补缩的情况下,冒口在模板上的投影面积尽量小,所以设计成柱形方冒口,冒口形状如图6所示,冒口质量分别约为2.45 kg和2.5 kg,冒口模数分别为1.03和1.06。

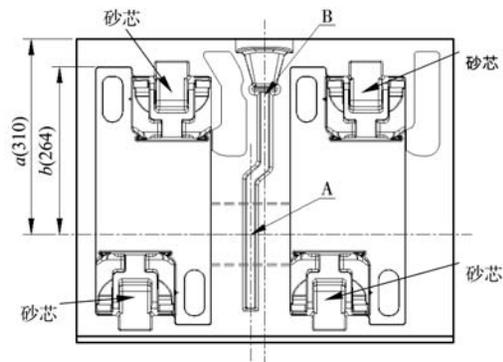


图3 每模2腔的底板布局

Fig. 3 The layout of base plate casting with two cavities each mold

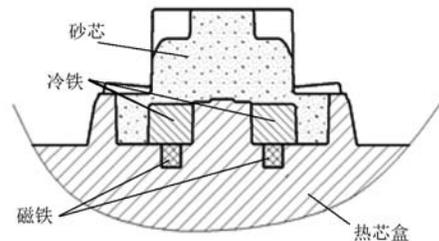


图4 热芯盒冷铁部位结构图

Fig. 4 Schematic of position of chills in hot core box

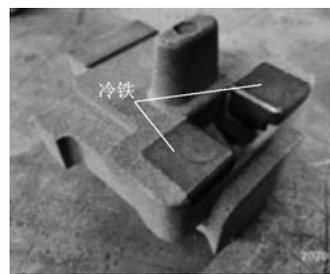


图5 冷铁在砂芯部位的位置

Fig. 5 Position of chills in sand core

柱状冒口液态补缩效率为15%，球墨铸铁液态收缩安全数据为4%<sup>[5]</sup>，冒口液体补缩应满足两个条件。

(1) 质量条件。 $G_{\text{冒口}} \times 15\% \geq G_{\text{铸件}} \times 4\%$ ，即： $G_{\text{冒口}} \geq G_{\text{铸件}} \times 4\% \div 15\%$ ， $G_{\text{冒口}} \geq 8.8 \times 4\% \div 15\%$ ， $G_{\text{冒口}} \geq 2.34 \text{ kg}$ 。式中： $G_{\text{冒口}}$ 为冒口质量，kg； $G_{\text{铸件}}$ 为铸件质量，kg。所以设计的两个冒口满足质量条件。

(2) 模数条件。冒口满足补缩的模数条件是： $M_{\text{冒口}} \geq M_{\text{铸件}}$ 。铸件模数： $M_{\text{铸件}}=0.58$ 。经计算，本工艺设计的两种形状的冒口模数： $M_{\text{冒口1}}=1.03$ ， $M_{\text{冒口2}}=1.06$ ，都满足条件。综上，两个冒口大小及形状可行。

(3) 冒口颈尺寸设计。因铸件本体为板类产品，本工艺选取矩形冒口颈，矩形冒口颈模数： $M_{\text{冒口颈}}=(a \times b)/2(a+b)$ ，式中： $a$ 为冒口颈厚度； $b$ 为冒口颈长度。

根据文献<sup>[2]</sup>，冒口颈模数 $M_{\text{冒口颈}} \geq \frac{1}{3}M_{\text{冒口}}$ ，即 $M_{\text{冒口颈}} \geq \frac{1}{3} \times 1.03$ ， $M_{\text{冒口颈}} \geq 0.34$ 。为了增加冒口的热影响区，本文取 $b=25 \text{ mm}$ ，经计算 $a \geq 9.34 \text{ mm}$ ，取 $a=10 \text{ mm}$ 。所以本文矩形冒口颈尺寸为 $25 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。

### 3 材质控制

作者公司采用中频电炉熔炼，化学成分按照表1控制，采用盖包法进行球化处理，浇注时用粒度为 $0.2 \sim 0.7 \text{ mm}$ 的75% FeSi进行随流孕育，浇注温度为 $1360 \sim 1440 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

按照上述优化后的工艺进行生产，随机抽取样品进行检验，表面无缩沉、缩松、缩孔等外观缺陷，在热节等部位切开，铸件内部无缩松、缩孔缺陷。图7所示为加冷铁前后铸件内部宏观对比图。

按照GB/T9441-2009和GB/T1348-2019的规范要求，对铸件本体进行金相组织和力学性能试验，试验结果如图8和表2所示，满足QT500-7指标和客户对铸件本体性能的要求。

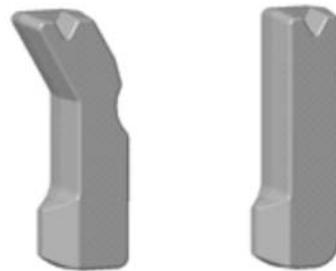


图6 冒口形状

Fig. 6 Profile of risers

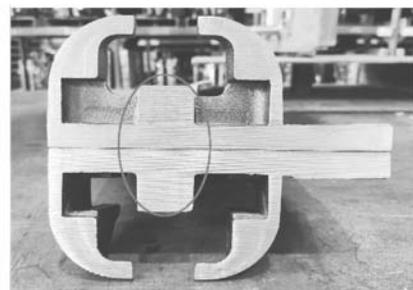
表1 底板产品的化学成分

Table 1 Chemical composition of base plate casting  $w_B/\%$

C	Si	Mn	S	P	Mg
3.0~4.0	2.0~3.0	< 0.6	< 0.03	< 0.06	0.03~0.06



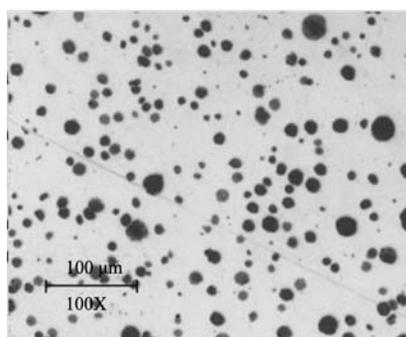
(a) 加冷铁前热节部位的缩松缺陷



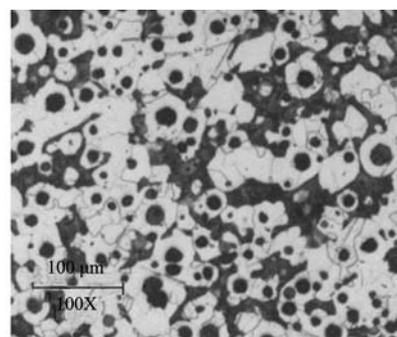
(b) 加冷铁后铸件热节部位无缩松缺陷

图7 铸件加冷铁前后热节部位对比

Fig. 7 Quality comparison of hot spot region in base plate casting before and after adding chills



(a) 金相图 (腐蚀前)



(b) 金相图 (腐蚀后)

图8 底板本体的金相组织

Fig. 8 Microstructure of base plate casting

表2 底板产品本体的力学性能  
Table 2 Mechanical properties of base plate casting

项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	硬度 HBW
目标值	≥480	≥300	≥6	170~230
实测值	632	383	11.5	207

## 4 结论

(1) 对于长度<410 mm, 宽度<180 mm的高铁底板类产品, 采用DISAA尺寸模板垂直造型生产线可以进行垂直布局, 实现每模生产2件产品。

(2) 采用壳芯内嵌式冷铁工艺, 可以有效解决球

墨铸铁高铁底板类产品热节部位的缩松、缩孔问题。

(3) 该工艺经过验证, 生产效率高, 产品质量稳定, 平均铸件废品率低于2%, 为公司带来了可观的经济效益。

### 参考文献:

- [1] 王旭平. 高速铁路板式无砟轨道CA砂浆灌注施工技术 [J]. 中国建材科技, 2020 (12): 174-175.
- [2] DISA Industries. DISAMATIC231A砂造型系统应用手册 [M]. 丹麦, 2008.
- [3] 耿刚, 宋勇. 均衡凝固技术在球铁生产中的应用 [J]. 内燃机车, 2008 (9): 18-23.
- [4] 苏义详, 申楠, 刘世铎. 缝隙式内浇道在ZQCuCo3CrRE铸件中的应用 [J]. 铸造, 2017, 66 (5): 497-499.
- [5] 金永锡. 汽车球铁冒口补缩设计方法及其评价 (2) [J]. 现代铸铁 (增刊), 2010 (2): 29-44.

## Casting Process Design and Optimization of Ductile Iron Base Plate for High Speed Railway on Vertical DISA Molding Line

LIU Shi-kui, ZHANG Bao-liang, LU Xiang-yu  
(Da Lian Bingshan Metal Technology Co., Ltd., Dalian 116600, Liaoning, China)

### Abstract:

In order to improve the production efficiency and product quality of vertical DISA line, taking the ductile iron base plate products for high-speed railway as an example, the pattern layout and gating system of the base plate castings on the vertical DISA line were designed. The production results show that by adopting the new casting process, the production efficiency of the DISA line is increased by 100%, and the shrinkage and porosity defects in the hot spot region of the casting are eliminated by using the technique of the chill embedded shell cores. The mass production of 2 cavities ductile iron base plate castings with the length of 405 mm and width of 185 mm is successfully implemented with the A size molding plate of the vertical DISA line.

### Key words:

high speed railway; ductile iron base plate; vertical DISA line; embedded chills