

整铸式立辊机架铸造技术研究

贾冠飞^{1, 2, 3}, 徐恩献^{1, 2, 3}, 魏长锁^{1, 2}, 史国峰^{1, 2}, 胡中华^{1, 2}, 鲁学钢^{1, 2}

(1. 洛阳中重铸锻有限责任公司, 河南洛阳 471003; 2. 中信重工机械股份有限公司, 河南洛阳 471003;
3. 河南省大型铸锻件工程技术研究中心, 河南洛阳 471003)

摘要: 分析了整铸式立辊机架的结构特点和技术要求。采用分区凝固补缩控制技术, 使铸件内部质量满足了超声检测标准要求; 根据机架结构特点选择不同铸件收缩率和加工余量, 使机架毛坯各部位尺寸得到准确控制; 采用双层完全开放型浇注系统和三包合浇的浇注方案, 缓解了浇注过程中形成的夹砂缺陷; 利用化学成分内控和钛微合金化技术, 有效保证了铸件力学性能和超声检测的透声性要求。最终生产出了满足技术要求的铸钢件。

关键词: 铸钢; 机架; 分区凝固补缩; 完全开放型浇注系统; 钛微合金化

我公司为某客户生产的整铸式立辊机架如图1所示, 轮廓尺寸为(长×宽×高): 9 120 mm×2 420 mm×2 295 mm, 材质ZG230-450, 净重85.746 t。该机架有四根横梁, 上下横梁通过连接肋板两两相连, 横梁部位最大壁厚530 mm, 最小壁厚400 mm; 两端立柱各两个 $\Phi 642$ mm孔, 立柱部位最大壁厚700 mm, 最小部位壁厚370 mm。与常规轧机机架相比, 整铸式立辊机架(下文中, 将涉及本文的整铸式立辊机架简称为机架)结构更加复杂, 铸造难度大幅度增加, 为保证铸件质量, 需在铸造技术上进行详细的研究和策划。

1 技术要求

(1) 按照JB/T5000.14—2007进行100%超声检测, 其中表层(到精加工尺寸表面50 mm以内或从精加工尺寸表面至 $T/5$ 为止的范围, T 为检测位置铸件壁厚)按照2级标准验收, 表层以内更深的范围按照3级标准要求验收; 内窗口R区部位(共8处)要增加斜探头检测, 并且不允许补焊。

(2) 机架材质ZG230-450, 正火加回火态, 力学性能要求: $R_{el} \geq 230$ MPa, $R_m \geq 450$ MPa, $A \geq 22\%$, $Z \geq 32\%$, $A_{KU} \geq 35$ J(室温)。

(3) 各部尺寸需准确保证, 非加工部位尺寸按照CT13公差标准进行验收。

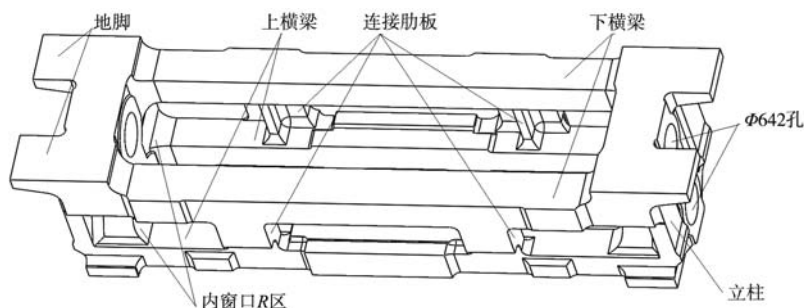


图1 立辊机架立体图

Fig. 1 3D graph of the edger mill housing

作者简介:

贾冠飞(1983-), 男, 高级工程师, 主要研究方向是大型铸钢件铸造工艺和技术。电话: 18638369056, E-mail: jgf214@163.com

中图分类号: TG269

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)09-1158-05

基金项目:

国家重点研发计划资助(2020YFB2008400)。

收稿日期:

2022-02-22 收到初稿,
2022-06-15 收到修订稿。

2 难点及风险分析

(1) 机架壁厚变化大, 探伤要求高, 需要研究采取特殊的工艺措施, 克服结构上凝固补缩难题、避免超标疏松缺陷、保证探伤质量是首要解决的问题^[1]。

(2) 机架结构复杂, 各部位凝固收缩阻碍情况不同, 需根据不同的结构设置不同的铸件收缩率, 实现铸件毛坯尺寸的精确控制^[2]。

(3) 机架为双层结构, 高度方向尺寸大, 浇注过程钢液充型速度慢, 对上箱型砂烘烤强烈, 掉砂倾向大, 需要在浇注系统和浇注工艺方面采取措施, 减少掉砂问题^[3]。

(4) 机架壁厚大, 凝固时间长, 结晶组织粗大, 需采用合适的成分内控和微合金化措施, 使铸件热处理后既能保证力学性能, 又满足探伤的透声性要求, 避免粗晶问题^[4]。

3 铸造工艺

采用分区凝固补缩控制技术, 参考铸件结构和冒口补缩距离, 将铸件分为两个立柱和四个横梁六大部分共计十个凝固补缩区域, 其中每个横梁分成两个凝固补缩区。按照顺序凝固的思路, 利用厚大截面隔砂冷铁进行强制冷却, 形成隔断, 隔断区域内采用大冒口集中补缩, 依据热节圆法计算冒口尺寸和两侧补距, 并用模数法进行验证, 以保证铸件内部质量满足探伤要求。

根据铸件结构特点, 选择连接肋板水平放置的铸造方案, 两端立柱部位分别设置一个大冒口进行补缩; 每根横梁分别设置两个冒口, 冒口间设置厚大截面隔砂冷铁, 采用十个冒口对铸件进行分区补缩。

3.1 分型面

由于机架横梁部位存在多个凸台且不在同一个水平面, 根据其结构特点, 设置两个分型面将机架分成上箱、中箱、下箱三部分, 下箱采用实样造型, 中箱采用组芯造型, 上箱采用盖箱, 如图2所示。此分型方案一方面便于横梁设置冒口对其进行补缩; 另一方面连接肋板处于同一水平面, 可以充当拉筋的作用, 防止横梁在凝固阶段产生外鼓变形。

3.2 铸件收缩率及加工余量

铸件的线收缩受很多因素的影响, 包括砂型紧实度、高温强度、退让性、外冷铁分布等, 铸件线收缩随着受阻程度不同而变化, 受阻程度大线收缩小; 反之则线收缩大^[5]。根据铸件结构和造型方案, 两端及高度方向属自由收缩部位, 铸件收缩率设置为2.0%; 考

虑到四根横梁两两相连, 线收缩会增大, 宽度方向铸件收缩率由正常的1.0%增大至1.4%; 通过加工余量调整铸件局部铸件收缩率的不统一, 上、下端及内侧面、宽度方向内侧面加工余量30 mm, 长度方向内侧加工余量35 mm, 所有外侧加工余量25 mm, 均为单面余量。

3.3 冒口设计

3.3.1 中间横梁部位冒口设计

设置加工余量后, 机架单个横梁长6 400 mm, 上层横梁主体截面尺寸分别为(宽×高): 505 mm×540 mm和530 mm×500 mm; 下层横梁主体截面尺寸分别为(宽×高): 470 mm×540 mm和430 mm×450 mm, 横梁整体均为杆状结构, 冒口的补缩距离短, 补缩难度大, 易产生缩孔和缩松缺陷。根据冒口补缩距离和铸件结构, 在连接肋板与横梁相连的最大热节部位设置冒口, 上层横梁部位最大热节 $\Phi 550$ mm, 每个横梁上分别设置2-Y650 mm×850 mm腰圆明冒口, 浇高1 350 mm, 冒口两侧补缩距离为3.3倍热节直径; 下层横梁部位最大热节 $\Phi 490$ mm, 每个横梁上分别设置2-Y700 mm×900 mm腰圆暗冒口, 浇高1 050 mm, 冒口两侧补缩距离为3.6倍热节直径。采用模数法验证, 确保冒口模数为补缩部位铸件分体模数的1.1倍以上。

3.3.2 两端立柱部位冒口设计

两端立柱部位高2 300 mm, 最大热节直径 $\Phi 760$ mm, 两个 $\Phi 642$ mm孔把铸件分成多个孤立热节, 如两个孔都正常铸出, 这些热节区域会因补缩通道受阻, 凝固后期无补缩来源导致探伤问题。为解决该问题, 通过反复模拟对比, 选择将靠近地脚端的一个 $\Phi 642$ mm孔铸实, 确保自下而上顺序凝固补缩通道通畅。根据计算每端各设置一个Y1 200 mm×1 600 mm腰圆冒口, 浇高1 350 mm, 竖直方向补缩距离为3倍热节直径, 实现该冒口对端部的集中补缩。铸实的孔清理阶段气割修出。采用该方案, 铸件毛重110 t, 浇注钢液重185 t。

3.4 冷铁设计

冒口之间设置专用厚大隔砂冷铁, 强制激冷形成人为末端区, 将铸件隔断, 分为十个凝固补缩区域。上层横梁设置(长×宽×厚)600 mm×600 mm×400 mm冷铁共6块, 冷铁厚度为上层横梁主体壁厚的0.8倍以上。考虑到下层铸件散热慢, 对下层冷铁进行加大加厚设置, 下层横梁设置(长×宽×厚)600 mm×600 mm×500 mm冷铁共6块, 冷铁壁厚为下层横梁主体壁厚的1.0倍以上, 确保形成隔断区, 为铸件分区补缩提供前提。所有隔砂冷铁隔砂层厚度均为20 mm。

窗口内侧R区部位不允许焊补，且要增加斜探头进行检测，结合前期生产经验，设置专用的“圆角冷铁”以保证该部位的质量，避免裂纹产生^[6]。铸件最终工艺如图2所示。

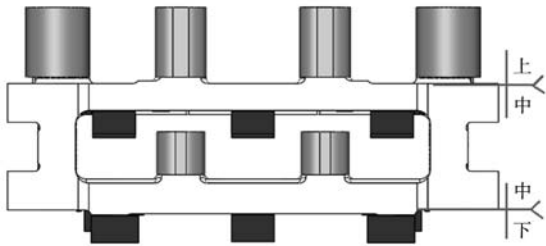


图2 立辊机架铸造工艺方案图

Fig. 2 Casting process scheme of the edger roll mill housing

3.5 计算机模拟验证

根据上述铸造工艺参数，三维建模后采用Magma软件对铸件凝固过程进行数值模拟，凝固温度场结果如图3所示，通过凝固温度场可以看出冷铁能起到很好的隔断作用，为铸件的分区补缩提供了前提。横梁部位实现了从冷铁隔断区到冒口的顺序凝固；两端立柱部位在铸实一个孔后，补缩通道通畅，实现了自下而上的顺序凝固；图4为FEEDING判据下冒口对铸件各部位的凝固补缩预测情况，结果显示内部无疏松缺陷，补缩良好。

3.6 浇注系统及浇注工艺

浇注系统的设置原则要求金属液在型腔内快速、

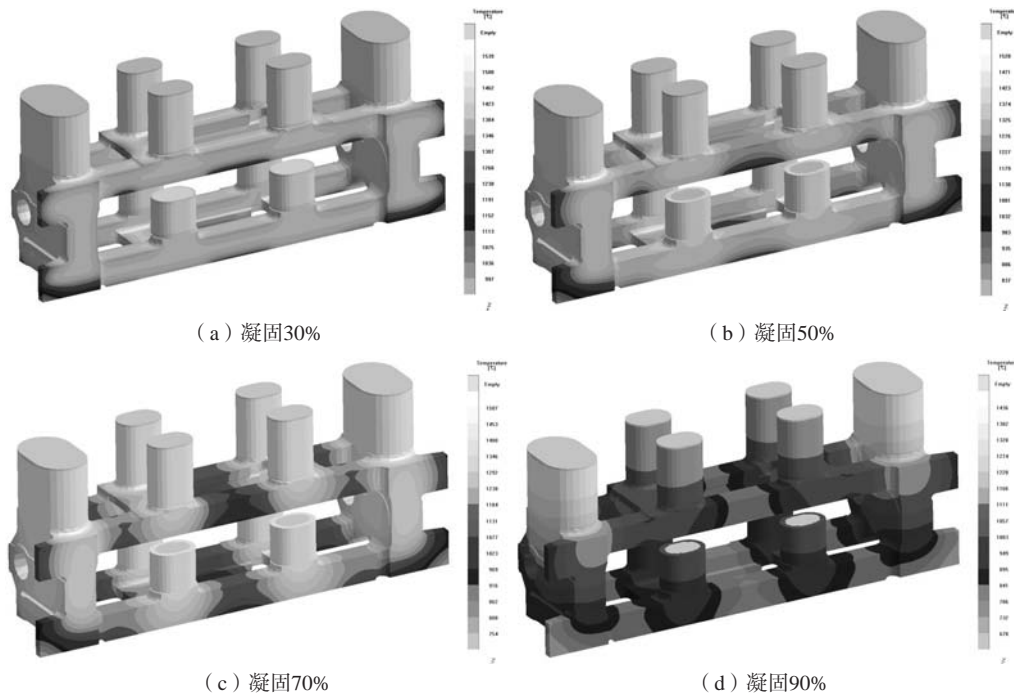


图3 立辊机架的凝固温度场云图

Fig. 3 The cloud map of the solidification temperature field of the edger roll mill housing



图4 采用FEEDING判据对立辊机架缩松缺陷的预测结果

Fig. 4 The prediction results of shrinkage porosity defects for the edger roll mill housing by using of the FEEDING criterion

平稳地流动和上升，尽量减少钢液对型砂的烘烤，因此浇注系统要求以“完全开放式”进行设计，即要求从钢包水口到直浇口、横浇口、内浇口为完全开放，保证钢液能够快速平稳充型^[7-8]。

根据机架的高度，设计双层浇注系统，保证每层浇注系统内浇口相对于横浇口、直浇口、钢包水口均为绝对开放，避免初始浇注阶段上层浇注系统过早进钢造成质量问题。铸件浇注钢液总量为185 t，采用3包合浇（2个吊包+1个座包）的浇注方案，充分保证浇注速度，其中吊包水口：4- Φ 100 mm，座包水口2- Φ 80 mm；

直浇口：6- Φ 140 mm；横浇口： Φ 120 mm；内浇口：
上层20- Φ 80 mm，下层20- Φ 80 mm。各部分面积比值，

$S_{\text{水口}} : S_{\text{直浇口}} : S_{\text{横浇口}} : S_{\text{下层内浇口}} = 1 : 2.2 : 2.2 : 2.4$ 。

采用低温快浇，工艺要求浇注温度1 530~1 550 $^{\circ}\text{C}$ ，
浇注过程遵循“慢-快-慢”的原则；初始阶段三个钢包
均先打开一个水口浇注，以减小液流因高度落差大对
型腔的冲击，浇注10~20 s液流稳定后，打开所有水口
进行全流浇注；待钢液即将上升至明冒口时，对水口
进行控流，降低浇注速度，使夹杂物能够充分上浮进
入冒口。

4 成分内控及热处理工艺

化学成分和热处理工艺是保证铸件最终力学性能
最重要的两个方面，但大型铸钢件的热处理工艺不仅
要保证铸件最终力学性能，还要兼顾铸件超声检测透
声性要求。很多厚大截面铸钢件，因热处理后超声检
测发现粗晶问题，不得不重新进行奥氏体化热处理，
导致生产成本和生产周期的增加，严重时还导致铸件
变形而报废。

为保证铸件力学性能同时满足热处理后超声
检测透声性要求，对机架的化学成分进行了内控：
0.20%~0.25% C，0.9%~1.1% Mn， $S \leq 0.02\%$ ，
 $P \leq 0.02\%$ ；考虑到Ti在冶炼过程的烧损，按照0.1%
加入，起到微合金化的作用^[4]，化学成分内控见表1。

表1 化学成分内控
Table 1 Chemical composition internal control and actual
composition $w_B / \%$

项目	C	Si	Mn	S	P	Ti
要求	≤ 0.3	0.3~0.5	0.8~1.1	≤ 0.03	≤ 0.02	
内控	0.20~0.25	0.3~0.5	0.9~1.1	≤ 0.02	≤ 0.02	0.1

铸件毛坯采用正火+回火热处理工艺，正火温度
890~920 $^{\circ}\text{C}$ ，回火温度580~620 $^{\circ}\text{C}$ 。为保证铸件综合
性能，正火出炉后采用鼓风冷却方式^[9]，正火鼓风冷却
速度较普通正火空冷冷却速度快，一方面可以改善铸
态组织，细化晶粒，另一方面可以获得强度和塑韧性
更好的铸件。

5 生产实施与验证

铸件按上述方案造型、浇注后，在地坑中冷却至
300~350 $^{\circ}\text{C}$ 出坑，利用余热切割冒口，要求切割过程
不得间断，冒口切割后即刻装炉执行正火+回火热处
理。热处理后铸件力学性能合格且有一定富余，见表2。经

表2 力学性能
Table 2 Mechanical properties

项目	R_{σ} / MPa	R_m / MPa	A/%	Z/%	A_{KU} / J
标准	≥ 230	≥ 450	≥ 22	32	≥ 35
实测	318	506	35	66	124.1、141.1、122.4

检测，铸件毛坯各部位壁厚、非加工面尺寸满足CT13
公差要求；表面掉砂问题有效控制，补焊量大幅减
少；粗加工后经超声检测，未发现粗晶问题，铸件表
层和心部质量均满足超声检测标准要求，整体质量获
得用户高度认可。粗加工后的铸件如图5所示。



图5 立辊机架粗加工态

Fig. 5 Rough machined edge roll mill housing

6 结论

(1) 采用分区凝固补缩控制技术，参考铸件结构
和冒口补缩距离，将铸件划分成十个凝固补缩区域，
按照顺序凝固思路，利用厚大截面隔砂冷铁进行强制
冷却，形成隔断，隔断区域内采用大冒口集中补缩，
有效保证了机架各部位的探伤质量。

(2) 根据铸件结构选择不同铸件收缩率和加工余
量，两端及高度方向铸件收缩率为2.0%，宽度方向铸
件收缩率为1.4%，通过加工余量调整内外侧铸件收缩
率的不统一，机架毛坯各部位尺寸得到有效保证。

(3) 双层全开放型浇注系统的设计，避免了浇注
初期上层过早进钢；大水口三包合浇的方案有效保证
了浇注上升速度，减少了掉砂形成的夹砂缺陷。

(4) 化学成分内控、微合金化元素Ti的加入、正
火鼓风冷却工艺方案，确保机架经一次正火+回火热
处理，既保证了力学性能，又避免了粗晶，满足超声
检测的透声性要求。

参考文献:

- [1] 边敦亭, 王自远, 张有飞. 热轧初轧机架大型铸钢件的铸造 [J]. 铸造, 2010 (3): 272-275.
- [2] 花忠良, 杨富伟. 5 m 轧机机架的铸造 [J]. 一重技术, 2007 (6): 44-45.
- [3] 边敦亭, 王自远. 轧机机架大型铸钢件缺陷成因分析及预防措施 [J]. 铸造, 2018, 67 (2): 182-184.
- [4] 卫心宏, 姚国平. 大型铸钢件钛微合金化的研究及应用 [J]. 铸造设备与工艺, 2017 (5): 41-43.
- [5] 罗鹏, 施世葵, 李呼阳. 大型机架铸造线收缩率探讨 [J]. 大型铸锻件, 1996 (1): 24-27.
- [6] 贾冠飞, 黄书军, 章晓辉, 等. 轧机机架超声检测标准解读与铸造工艺设计 [J]. 大型铸锻件, 2016 (1): 32-34.
- [7] 周寒, 刘林, 刘洪生, 等. 宝钢5 m 宽厚板机架铸造工艺的研究 [J]. 铸造, 2008, 57 (7): 731-733.
- [8] 赵永让. 大型铸钢件浇注系统的设计原则 [J]. 铸造技术, 2008, 29 (10): 1425-1427.
- [9] 王泽忠, 杨小兵. 特大型轧机牌坊铸钢件的质量分析与实践 [J]. 热加工工艺, 2010, 39 (15): 56-58.

Study on Casting Technology of Integral Cast Edger Roll Mill Housing

JIA Guan-fei^{1,2,3}, XU En-xian^{1,2,3}, WEI Chang-suo^{1,2}, SHI Guo-feng^{1,2}, HU Zhong-hua^{1,2}, LU Xue-gang^{1,2}

(1. Luoyang CITIC HIC Casting and Forging Co., Ltd., Luoyang 471003, Henan, China; 2. CITIC Heavy Industries Co., Ltd., Luoyang 471003, Henan, China; 3. Henan Province Heavy Casting & Forging Technology Center, Luoyang 471003, Henan, China)

Abstract:

The structural characteristics and technical requirements of the integral cast edger roll mill housing are analyzed. The divisional solidification and feeding control technology is adopted to make the internal quality of the steel castings meet the requirements of ultrasonic testing standards. Different scales and machining allowances are selected according to the structural characteristics of the edger roll mill housing, so that the dimensions of each part of the casting blank can be accurately controlled. The double-layer full non-pressurized gating system and three ladle pouring scheme are adopted to alleviate the sand inclusion defects formed in the pouring process. The internal control of chemical composition and titanium micro-alloying technology are used to effectively ensure the mechanical properties of the casting and the sound transmission requirements of ultrasonic testing. Finally, the steel castings meeting the technical requirements are produced.

Key words:

cast steel; mill housing; divisional solidifying and feeding; full non-pressurized gating system; titanium micro-alloying