

G20Mn5 大型轧机机架铸造工艺设计

张凯强^{1, 2}, 田磊^{1, 2}, 胡中华^{1, 2}, 王雪莲^{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)

摘要: 根据轧机机架结构特点进行铸造工艺设计, 借助MAGMA软件进行凝固过程数值模拟分析和检验工艺方案的合理性, 最终生产的机架质量满足轧机标准要求。

关键词: 轧机机架; 铸造工艺; 数值模拟; 顺序凝固

机架是宽厚板轧机中的重要承力零件, 要求轧机机架具有耐高温、抗震动、承受重力和冲击载荷的性能。其产品结构复杂, 壁厚和尺寸规格大, 对轧机机架的铸件质量提出了严格要求^[1-2]。

公司在轧机机架产品技术和生产方面积累了丰富的经验, 通过借助MAGMA软件进行轧机机架凝固过程数值模拟, 可有效预测铸件中可能产生缩孔、疏松和裂纹等铸造缺陷的区域, 并针对性地采取工艺措施, 实现大型轧机机架铸件的工艺优化和质量提升, 降低生产成本。

1 轧机机架技术要求

图1为公司生产的宽厚板轧机机架铸件, 净重195 t, 主体壁厚760 mm, 最大轮廓尺寸为11 415 mm × 5 085 mm × 1 790 mm, 重量和尺寸规格大, 机架非加工表面区域多, 尺寸精度控制难度大, 整体质量要求高。

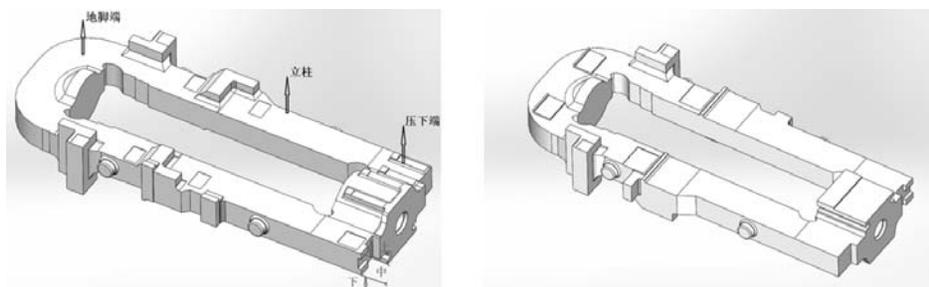


图1 机架结构图

Fig. 1 Structure of the mill housing

作者简介:

张凯强(1991-), 男, 工程师, 从事铸造工艺研究工作。E-mail: zhangkq949964116@163.com

中图分类号: TG24

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2023)11-1497-04

收稿日期:

2023-02-16 收到初稿,
2023-03-26 收到修订稿。

1.1 化学成分和力学性能要求

铸件材质为G20Mn5, 交货时的热处理状态为正火+回火, 附铸试块尺寸为250 mm × 200 mm × 150 mm, 试块尺寸规格大, 对试块质量要求高。化学成分和力学性能要求符合EN 10293: 2015的规定, 具体见表1、表2。

表1 化学成分

Table 1 Chemical composition

w_B /%

C	Si	Mn	P	S	Ni
0.17~0.23	≤0.60	1.00~1.60	≤0.020	≤0.020	≤0.80

表2 力学性能
Table 2 Mechanical performance

$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A/\%$	A_{KV2}/J
≥ 300	480~620	≥ 20	≥ 50

1.2 无损检测要求

无损检测过程对机架整体外部质量和内部质量要求高。按照EN 1369进行100%MT检测，验收等级

SM2、LM/AM3，焊补区验收等级SM2、LM/AM2；按照EN12680-1进行100%UT检测，验收等级按照表3执行，表3中未说明的验收要求（ $100\text{ mm}<\text{壁厚}\leq 600\text{ mm}$ ）按照EN12680-1的4级验收，且适用于壁厚 $\geq 600\text{ mm}$ 的区域。UT检测时，在机架窗口100 mm特殊边缘区域（含窗口圆角）增加K1或K2双晶探头检测，以减少机架窗口关键区域精加工后由于表面缺陷造成的焊补修复。

表3 轧机机架超声检测验收要求
Table 3 Requirements for ultrasonic inspection and acceptance of the mill housing

区域	壁厚/mm	缺陷特征/mm				底波衰减/dB	
		反射体无可测量尺寸		反射体无可测量尺寸		可接受极限	记录极限
		可接受极限	记录极限	可接受极限	记录极限	可接受极限	记录极限
中心区	≤ 600	20	12	16	12	22	12
	> 600	25	18	18	12		
边缘区	≤ 600	12	8	8	6	12	8
	> 600	18	12	12	8		
100 mm特殊边缘区域		8	6	8	6		

2 铸造工艺性分析

该机架整体结构复杂，造型操作难度大，凸台圆角区域易因铸件收缩受阻而产生裂纹；截面厚大、热节大、模数大，整体为杆状结构，冒口补缩距离长，易产生缩孔疏松缺陷和热处理后探伤粗晶风险；钢液总重390 t，对砂型刚度和强度要求高，避免因型壁移动引起的铸件缩沉、弯曲和裂纹的风险；材质为低碳低合金钢，浇注时间长、钢液流动性差，凝固方式偏向糊状凝固，也易产生缩孔疏松缺陷，试块内部易因成分偏析导致性能不合格^[3-4]；窗口特殊区域质量要求高，既要保证立柱内部和近表面质量，也要考虑砂型退让性对铸件机械收缩的影响；无损检测操作对表面粗糙度要求高，需通过设置工艺补正进行打磨、刀具修正等方式改善非加工表面质量和尺寸精度控制。

3 铸造工艺设计和数值模拟

3.1 铸造工艺方案

3.1.1 分型面选择

选择分型面应使铸件全部或大部分置于同一半型内，尽量选用平面且减少分型面数目，同时要考虑工艺方案对造型操作的影响^[4]。根据机架结构形式和底面冷铁分布，将螺孔压下端平面作为铸造底面，以立柱上、下端面作为分型面，将大部分凸台置于上型中，尽量降低下型凸台对铸件收缩的影响，提高下型操作便利性，同时可充分利用冒口下凸台增强对铸件本体

的补缩效果，提高铸件质量，分型面选择方案如图1a所示。

3.1.2 补缩系统设计

利用热节圆法确定压下端、地脚端横梁和立柱冒口尺寸，用模数法验证冒口补缩能力。机架立柱 $L_{\text{补距}}\approx 9.5T_{\text{热节}}$ ，杆状结构的立柱易在心部产生轴线疏松缺陷，因此，立柱各设置两处冒口，以增加冒口延续度，缩短立柱冒口的补缩距离；根据立柱底面冷铁分布和横梁、立柱冒口补距计算结果，该机架采用六处腰圆冒口对铸件厚大处集中补缩的工艺方案，提高冒口补缩效果，冒口工艺方案见图2。

根据机架主体壁厚在冒口间设置专用暗冷铁形成人为末端区，暗冷铁采用台阶式摆放以形成指向冒口的温度梯度，增大补缩通道扩张角，延长冒口作用区，提高窗口特殊区域铸件质量；在凸台、窗口圆角处设置专用暗冷铁可有效避免热裂纹的产生；在压下端底面设置暗冷铁，并在螺孔砂芯处设置出气通道，提高螺母孔下部冷却速度，避免热应力引起螺母孔产生裂纹的风险^[5]。

3.1.3 浇注系统设计

在机架底部、冒口处设置双层开放的阶梯式浇注系统，下层浇注系统各单元截面积比为 $S_{\text{包}}:S_{\text{直}}:S_{\text{横}}:S_{\text{内}}=1:1.96:2.35:3.33$ ，上层浇注系统各单元截面积比为 $S_{\text{包}}:S_{\text{直}}:S_{\text{横}}:S_{\text{内}}=1:1.96:3.92:5.12$ ，确保钢液充型平稳，实现“自下而上”的温度梯度和顺序凝固；根据

公司生产机架的经验,距离机架本体15~20 mm摆放内浇口,并控制砖管间距在300 mm以上,可有效避免浇口附近物理热节处产生裂纹、疏松缺陷^[6]。

机架横截面尺寸大,采取型腔吹氩气保护浇注方式,并遵循低温快浇的原则,可减少浇注过程钢液二次氧化产生的夹杂缺陷。同时,控制浇注温度在1 530~1 550 ℃,降低钢液过热度,减少凝固过程成分偏析、粗晶风险和缩孔疏松缺陷对铸件质量的影响。

浇注工艺对铸件质量的影响至关重要,不仅体现在浇注系统设计是否合理、浇注方案(成分、温度控制)等方面,在生产过程中还要关注造型原辅材料、热处理工艺和铸件清理等影响大型铸钢件质量的因素。

3.2 铸造工艺数值模拟

运用MAGMA软件并结合基于Niyama判据法的Feeding模块,根据机架UT检测要求,选取Niyama函数判据值为 $0.8 \text{ } ^\circ\text{C}^{1/2} \cdot \text{min}^{1/2} \cdot \text{cm}^{-1}$,铸造工艺数值模拟结果见图2。凝固模拟结果显示铸件内部无缩孔疏松缺陷产生,最后凝固区域集中在冒口中,工艺冒口的浇高和补缩能力能够满足机架质量要求。

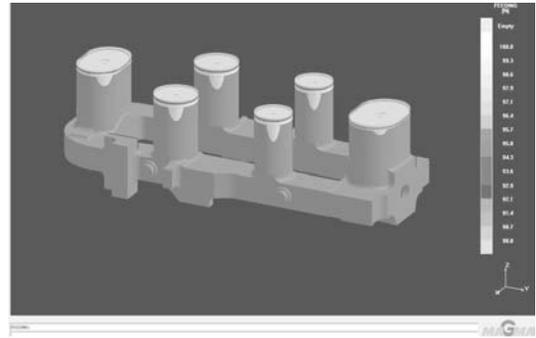
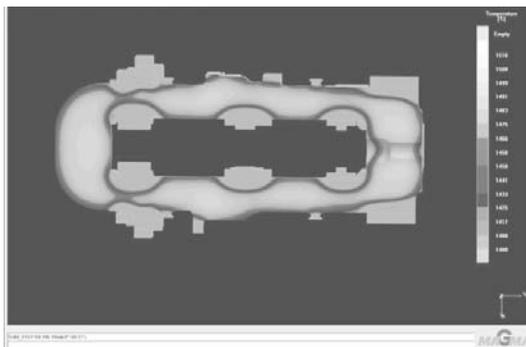


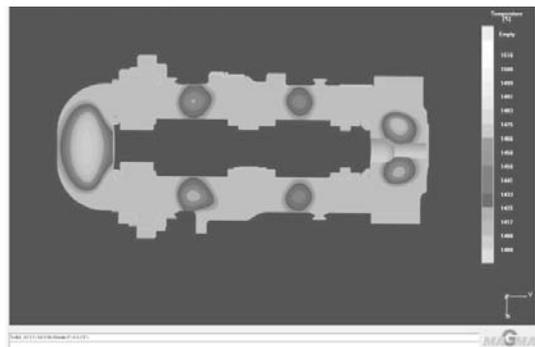
图2 凝固模拟结果

Fig. 2 Results of solidification simulation

凝固过程温度场变化如图3所示,冒口间设置的工艺暗冷铁在铸件凝固过程中增强了末端冷却效果,实现冒口的分区补缩作用,有效消除冒口之间可能产生的轴线疏松缺陷。窗口圆角的暗冷铁在凝固初期体现了较好的冷却效果,加快该区域组织凝固和冷却速度,有效避免应力引起裂纹产生的风险。横梁区域模数大,凝固时间长,内部存在较大的同时凝固区,该部分铸件质量仍需要合理的热处理工艺来保证^[3]。凝固温度场的变化规律显示出铸件整体实现了自下而上的顺序凝固,表明工艺方案中冒口、冷铁设计合理,能



(a) 40.17%



(b) 61.21%

图3 凝固过程温度场模拟结果

Fig. 3 Temperature field simulation results of solidification process

够用于机架的实际生产。

4 生产检验

运用设计的工艺方案已完成大型宽厚板轧机机架的生产,经热处理后的试块性能检测合格,力学性能检测结果见表4。冒口下铸件内部组织无粗晶显示,无

表4 力学性能检测结果

Table 4 Testing results of mechanical properties

$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A/\%$	A_{KV2}/J
343	529	37	78.6/71.9/88.1

损检测过程经用户联检见证一次合格,MT、UT检测结果满足标准要求,机架整体质量较好并获得用户认可。

5 结语

机架尺寸规格大、结构复杂,首先合理选择分型面,MAGMA软件可检验机架工艺方案中冷铁、冒口和浇注系统的合理性,实际生产的机架的质量检验结果均满足标准要求。

参考文献:

- [1] 郭洪涛, 郭林, 刘波. 轧钢机牌坊的铸造生产工艺 [J]. 铸造设备与工艺, 2010 (3): 22-24.
- [2] 郭林. 轧钢机机架铸造工艺分析 [J]. 金属加工, 2010 (23): 68-70.
- [3] 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.
- [4] 李晨希. 铸造工艺设计及铸件缺陷控制 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [5] 施世葵. 大型轧机机架的铸造实践与研究 [J]. 大型铸锻件, 1981 (4): 7-11.
- [6] 赵永让. 大型铸钢件浇注系统的设计原则 [J]. 铸造技术, 2008 (10): 1425-1427.

Casting Process Design of Large G20Mn5 Rolling Mill Housing

ZHANG Kai-qiang^{1,2}, TIAN Lei^{1,2}, HU Zhong-hua^{1,2}, WANG Xue-lian^{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)

Abstract:

According to the structural characteristics of the mill housing, and the solidification process was numerically simulated and analyzed with the help of MAGMA software to verify the rationality of the process plan. The quality of the final produced housing met the requirements of the mill standards.

Key words:

mill housing; casting process; numerical simulation; directional solidification
