复合轧辊球墨铸铁辊芯铸模底箱优化设计 及生产验证

万 敏^{1,2},杨秀霞^{1,2},王晋涛¹,郭修磊³,孙格平³

(1. 河北机电职业技术学院,河北邢台 054000; 2. 河北省金属材料加工及数字化成型应用技术研发中心,河北邢台 054025; 3. 中钢集团邢台机械轧辊有限公司,河北邢台 054025)

摘要:采用传统的铁模覆砂底箱生产的离心复合轧辊经常在辊芯的底颈发现中心疏松缺陷。通过研究分析,一个有利于实现顺序凝固、减少辊芯底颈疏松的新型金属型底箱被设计,并应用ProCAST软件分别对采用传统的铁模覆砂底箱和新型的金属型底箱生产离心复合铸造轧辊球墨铸铁辊芯的凝固过程进行了数值模拟。实际生产和检测结果表明,采用新型金属型底箱模具生产轧辊的球墨铸铁辊芯,辊芯底颈疏松完全去除,底颈金相组织和力学性能得到明显改善。

关键词:铸造轧辊;底箱;优化设计;数值模拟

离心复合铸造轧辊主要用于热带连轧机、中板轧机、炉卷轧机及部分线棒材轧机工作辊,其具有高合金含量的辊身工作层采用离心铸造工艺生产,辊芯材料是球墨铸铁,采用重力铸造工艺生产。离心复合铸造轧辊及其工装结构如图1所示,辊芯上下部分按照轧辊不同部位分为冒颈、辊身和底颈,对应的工装分别称为冒箱、冷型和底箱。辊芯化学成分如表1所示。离心复合铸造轧辊很好地解决了单种材料轧辊辊身高强度、高硬度、高耐磨与辊颈高韧性之间的矛盾,因此可以满足轧钢设备日益大型化、高速化、自动化和恶劣轧制条件的要求。

1 轧辊底颈模具及铸造工艺设计与优化

传统的离心复合轧辊铸造工艺,辊身部分采用的是HT200金属型作为模具,而底颈部分通常采用砂/金属复合的ZG35铁模覆砂底箱作为模具,如图2所示。

这种铁模覆砂工艺增加了底箱的通用性,可以有效减少生产现场空间的占用,也可以降低模具资金占用,但这种生产工艺很难实现自下而上的顺序凝固,辊颈部位过大的吃砂量造成辊身部位铁液冷却速度大于辊颈部位,辊身部位先于底颈和冒颈部位凝固,阻隔了底颈部位的铁液补缩,极易导致底颈出现内部疏松。实际产品生产后,通过超声波探伤检测,经常在轧辊的底颈发现中心疏松缺陷^[1]。由于轧辊使用过程中底颈是传动侧,需要承受较大的轧制载荷,因此该部位存在的中心疏松会加大轧辊使用时的断辊风险。底颈中心疏松在传统轧制方式下尚可接受,但是随着轧机的升级换代,轧制环境日益恶劣,这种缺陷日益凸显出弊端,亟待解决。

作者根据传热学基本原理^[2],结合轧辊的凝固特点,设计出金属型底箱替代传统的铁模覆砂底箱,如图3所示。

2 凝固过程数值模拟和结果分析

作者分别利用ProCAST数值模拟软件对两种底箱生产的轧辊充型后的冷却速度、凝固过程进行数值模拟,并进行对比分析[^{3-4]}。

作者简介:

万 敏 (1981-),女,高级工程师,硕士,主要研究方向为材料热加工工艺。电话: 15030982210,E-mail: wanmin1214@163.com

中图分类号: TG0244 文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)

06-0722-05

收稿日期:

2020-12-18 收到初稿, 2021-04-16 收到修订稿。

选用某2250热连轧机用辊进行模拟, 轧辊辊身直 径为850 mm, 辊身长度为2 250 mm, 底颈部位尺寸为 Φ (500~512) mm×1580 mm, 轧辊全长5690 mm。

对数值模拟过程各部位初始温度进行设定和数据 处理,具体如下。

- (1) 假设辊芯各部位温度一致,均为 T_0 ,不考虑 填芯过程造成的各部位温度差异。 To由传统方法浇注芯 部铁液后插入热电偶测得的实际温度。
- (2)假设轧辊辊身部位所用的模具各部位温度一 致,均为 T_{90} ,是通过红外测温枪测量工作层离心铸造 完成后的辊身部位模具得到。
- (3)假设已经在离心铸造过程中完成凝固的辊身 工作层各部位温度一致,均为 T_{90} ,初始值为离心铸造 结束时型腔内部温度,该温度由热电偶测定,近似等 于已凝固辊身外层的温度。
 - (4)底箱、冒箱模具初始温度T_{新0}均设定为

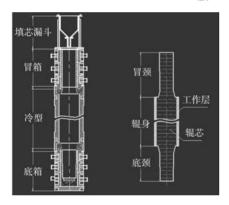


图1 离心复合铸造轧辊及其工装结构示意图 Fig. 1 Sketch of centrifugal composite cast roll and fixture

表1 离心复合铸造轧辊芯部化学成分 Table 1 Chemical composition of core for centrifugal composite cast roll

C 3.2~3.8

entrifug	$w_{\rm B}/\%$		
Si	Mn	P	S
2~3	0.4~0.8	< 0.05	< 0.03

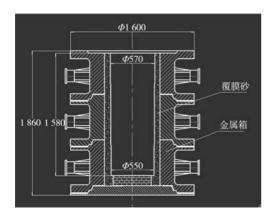


图2 传统砂/金属型的铁模覆砂底箱示意图 Fig. 2 Sketch of traditional bottom sand coated iron mold

30 °C ∘

(5)由于轧辊为厚大断面铸件,石墨膨胀对底颈 部位凝固过程影响较小,因此在数值模拟参数及结果 分析时不再单独考虑。

数值模拟具体温度参数如表2所示。

两种底箱的数值模拟结果如图4和图5所示。图4是 辊芯在传统底箱中的凝固过程,可以明显看出最先凝 固的是辊身部位,阻断了底箱部位的底颈中心的补缩 通道,在底颈中心出现明显的热节,最终导致底颈部 位出现了明显的疏松[5-6]。图6a显示了该工艺下的轧辊 内部疏松分布。

采用金属型底箱的数值模拟结果,如图5所示,轧 辊径向的凝固速度由传统底箱时的辊身快干底颈变成 了底颈快于辊身。轧辊辊芯实现了自下而上的顺序凝 固,凝固过程补缩通道畅通,如图5b所示。

图6显示了辊芯在两种底箱模具中凝固后的轧辊疏

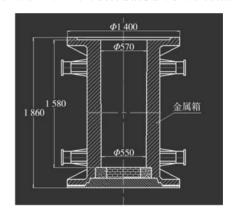
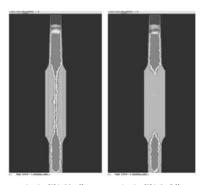


图3 新型金属型底箱 Fig. 3 Sketch of new type bottom permanent mold

表2 数值模拟温度参数 Table 2 Temperature parameters of numerical simulation

项目	辊芯浇注	辊身部位模	辊身工作层	其他部位
	温度 T_0	具温度 T_{90}	温度 T_{h0}	模温 $T_{ m lpha 0}$
温度/℃	1 400	250	1 080	30



(a)凝固初期

(b)凝固后期

图4 传统底箱模具中的凝固情况

Fig. 4 Solidification process in traditional bottom permanent mold

松分布情况,可以看出采用新型金属型底箱后,底颈 部位中心疏松完全消失。

3 实际生产对比

分别使用传统的铁模覆砂底箱和新型金属型底箱 对同一规格产品进行生产,两支产品浇注参数完全相 同。实验产品编号分别为TR01和NM02。

3.1 底颈超声波检测

采用100%底波法对两支轧辊底颈部位进行径向超声波检测,以确定中心是否存在疏松及相应的底波衰减程度,选用的探头型号为1M单晶直探头。图7为两支产品成品超声波探伤检测情况示意图。

采用传统砂型底箱生产的TR01,其底颈部位存在长约300 mm的底波衰减区,可判定为疏松缺陷。而采用新型底箱生产的NM02,其底颈部位没有明显的底波衰减,说明该处组织致密,无疏松缺陷,与图6中数值模拟结果基本一致。

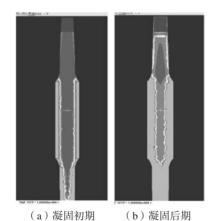
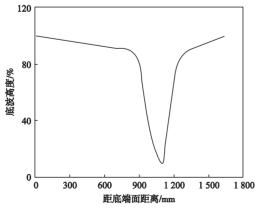


图5 铁液在新型底箱模具中的凝固情况

Fig. 5 Solidification process in new type bottom permanent mold



(a) 传统底箱, 辊号 TR01

(b)新型底箱,辊号 NM02

300

图 7 底颈超声波探伤底波波高对比

Fig. 7 The back wall UT test results at the zone of bottom neck of roll core

120

80

40

底波高度/%

3.2 金相组织检测结果

分别对TR01和NM02两支产品的底颈部位距表面100 mm深处取样进行了金相组织检测,如图8所示。

采用传统底箱生产的TR01其底颈石墨形态为团、团虫状,球化率60%~70%,金相组织为珠光体+铁素体+5%左右的碳化物。从对比情况看,采用新型底箱生产的NM02轧辊,其底颈石墨形态为球、团状石墨,球化率90%以上,金相组织为珠光体+铁素体+3.5%左右碳化物。

对比两支产品的金相组织,采用新型底箱生产的 其金相组织更加细小、石墨分布更加均匀、单个石墨 尺寸更加细小。

3.3 力学性能检测结果

在产品底颈表面进行硬度检测,并取拉伸试样进行力学性能检测,表3是两支产品底颈试样的力学性能检验结果。

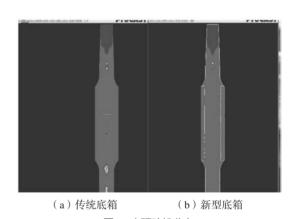


图6 底颈疏松分布

Fig. 6 Shrinkage porosity distribution at the zone of bottom neck of roll core

900

距底端面距离/mm

1 200

1 500

1 800

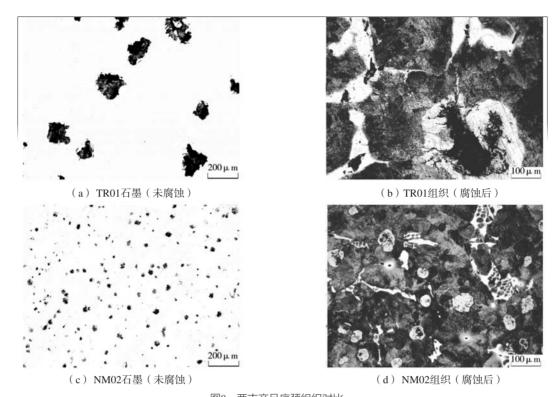


图8 两支产品底颈组织对比 Fig. 8 Microstructure of bottom neck zone

对比力学性能检测结果,新型底箱生产的产品其 底颈强韧性较传统底箱生产产品有明显的提高,能够 保证产品更安全的使用。

表3 力学性能检测结果 Table 3 Testing results of mechanical properties

性能	传统 TR01	新型 NM02
硬度 HSD	33~37	40~44
抗拉强度/MPa	350~420	500~530
屈服强度/MPa	无屈服强度	~450
伸长率/%	无伸长率	2

4 结论

- (1) 采用ProCAST铸造数值模拟软件对两种不同 底箱生产轧辊产品的凝固过程进行了数值模拟,结果 显示传统底箱生产的产品在底颈中心靠上部位存在明 显的疏松区域,采用新型底箱生产的产品底颈质量良 好无明显铸造疏松; 对比实际产品探伤检测结果, 两 种方式生产产品的底颈部位疏松位置、长度与数值模 拟结果一致。
- (2)新型底箱的应用不仅解决了离心复合轧辊底 颈部位疏松的问题,同时也改善了底颈部位的金相组 织及力学性能,为轧辊的安全使用提供了更有效的保证。

参考文献:

- [1] 周尧和,胡壮麒,介万奇.凝固技术[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 刘利刚,杨庆祥,李强,等. 利用Niyama判据预测离心铸造轧辊缩孔缩松缺陷 [J]. 铸造技术,2009,30(12):1580-1582.
- [3] XIONG S M, LI Y Q, PENG J S. Zone partitioning computation technique during solidification simulation of sand casting process [J]. International Journal of Cast Metals Research, 2002, 15 (4): 385–388.
- [4] 马联合, 巩红涛, 高磊. 基于ProCAST的支承壳体铸件铸造工艺设计与优化 [J]. 热加工工艺, 2018, 47 (15): 101-103.
- [5] 李嘉荣,柳百成. 球墨铸铁件缩孔缩松的形成及其预测 [J]. 现代铸铁, 1993, (1): 32-40.
- [6] 康秀红,李强,李殿中,等.大型铸钢支承辊充型和凝固过程数值模拟[J].铸造,2003,52(9):700-703.

Optimization Design and Production Validation of Bottom Mold for Ductile Iron Core Casting of Centrifugal Composite Roll

WAN Min^{1,2}, YANG Xiu-xia^{1,2}, WANG Jin-tao¹, GUO Xiu-lei³, SUN Ge-ping³ (1. Hebei Institute of Mechanical and Electroninc Technology, Xingtai 054000, Hebei, China; 2. Hebei Metal Materials Digital Forming Applied Technology R&D Center, Xingtai 054000, Hebei, China; 3.Sinosteel Xingtai Machinery & Mill Roll Co., Ltd., Xingtai 054025, Hebei, China)

Abstract:

A new type bottom permanent mold for casting of ductile iron core of centrifugal composite roll was designed, which is beneficial for realizing sequential solidification and reducing shrinkage porosity of the bottom neck of the roll core. The ProCAST software was used to simulate the solidification process of the bottom neck in the ductile iron cores produced respectively using the bottom sand coated iron mold and the bottom permanent mold, The actual production and examination results show that the shrinkage porosity at the bottom neck of the roll core is completely removed after the new type bottom permanent mold is applied, and the microstructure and mechanical properties at the zone of the bottom neck are obviously improved.

Key words

cast roll; bottom mold; optimization design; numerical simulation